

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Andrija R. Vojinović

**EFEKTI RAZLIČITIH TIPOVA
OPTEREĆENJA NA RELACIJU SILA–
BRZINA PRI JEDNORUČNOM I
DVORUČNOM IZBAČAJU LOPTE**

doktorska disertacija

Beograd, 2023.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Andrija R. Vojinovic

**EFFECTS OF DIFFERENT LOAD TYPES ON
THE FORCE–SPEED RELATIONSHIP IN
ONE-HANDED AND TWO-HANDED
THROWING OF THE BALL**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2023.

Informacije o mentoru i članovima komisije

Mentor:

Dr Dejan Suzović, redovni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000 Beograd

Srbija

Članovi komisije:

Dr. Aleksandar Nedeljković, redovni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000 Beograd

Srbija

Dr. Milan Petronijević, docent

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11 000 Beograd

Srbija

Dr. Ljubomir Pavlović, vanredni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Nišu

Čarnojevićeva 10a

18 000 Niš

Srbija

Datum odbrane: _____

Predgovor

U okviru naučnog istraživanja urađena je doktorska disertacija pod nazivom: „Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila–brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte“ pri čemu su uzorak ispitanika u eksperimentu i trenažnim sesijama činili studenti koji nisu aktivni sportisti.

Materijal koji je prikazan u ovoj doktorskoj disertaciji većim delom je zasnovan na rezultatima koji su publikovani kao originalni naučni članak u renomiranom međunarodnom časopisu.

Originalni naučni članci:

Andrija Vojinović, Danica Janicijevic, Milos R. Petrovic, Amador Garcia-Ramos, Milica Simic, Dejan Suzovic (2023)

“Free weight training vs. elastic band training: What is more effective strategy for increasing velocity capacity during handball throw?”, *Kinesiology, International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology* (Horvaćanski zavoj 15, 10 000 Zagreb, Croatia).

Izjave zahvalnosti

Pre svega, posebno bih se zahvalio svom mentoru, *prof. dr Dejanu Suzoviću*, na pomoći, strpljenju i konstantnom motivisanju da istrajem u svim fazama izrade doktorske disertacije. Veliko hvala, profesore!

Tokom izrade doktorske disertacije, javljali su se problemi koje nije bilo moguće savladati samostalno. Iz tog razloga želeo bih da se zahvalim kolegama koji su bili tu na bezuslovnoj pomoći i saradnji u pripremi i sprovođenju testiranja u okviru ove disertacije. Zahvalo bih se *Danici Janićijević* i *Milošu Petroviću* na doprinosu da ova doktorska disertacija dobije svoju finalnu verziju.

Zahvaljujem se kolegici *Milici Simić* na nesebičnoj pomoći da realizujem verovatno najteži deo ovog istraživanja koji je obuhvatao organizaciju, testiranje ispitanika i program treninga. Hvala na izdvojenom vremenu.

Hvala ispitanicima koji su izdvojili vreme i pristali da volontiraju u izradi ove disertacije, koji su redovno dolazili na sva testiranja, pri čemu su sve zadatke u eksperimentu odradili savesno i uz visok nivo motivacije i strpljenja.

Zahvalio bih se svim profesorima i kolegama sa fakulteta koji su svojim mišljenjem i savetima bili deo ove disertacije.

Na kraju zahvalo bih se svojoj porodici, majci *Gordani* i bratu *Vladici*, a pre svega svojoj supruzi *Marijani* i sinu *Sergeju* koji su mi dali bezuslovnu podršku kada mi je bilo teško. Hvala na razumevanju i strpljenju tokom svih ovih godina. Beskrajno vam hvala!

Rezime

Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila–brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte

Osim što izazivaju mnoge pozitivne biološke adaptacije (ili pomake mišićne mase, gubitak masti, uvećanje gustine kostiju itd.) dobro osmišljeni treninzi otpora imaju važan uticaj na poboljšanje atletskih performansi. Čak su i kratki programi pokazali da su efikasni u poboljšanju brzine sprinta, sposobnosti skakanja i bacanja kapaciteta različitih sportista. Mnoge promenljive treba uzeti u obzir prilikom programiranja treninga, kao što su intenzitet, obim, učestalost treninga, redosled vežbi, trajanje intervala odmora itd. Međutim, postoji još jedna promenljiva koja se ređe razmatra, ali može značajno da utiče na ishode programa treninga i ona je tip otpora. Konkretno, sličan broj ponavljanja i serija, relativno opterećenje i pauze između ponavljanja izvedeni korišćenjem različitih tipova otpora, doveli su do različitih muskuloskeletalnih adaptacija. Najčešće korišćeni tipovi otpora koji se koriste su inerciono opterećenje i elastične gume. Ipak, ne postoji konkretno objašnjenje u vezi sa tim koji trening je efikasniji, s obzirom na to da je pokazano da različiti tipovi otpora izazivaju različite adaptacije u mišićima.

S tim u vezi, postavljeno je više ciljeva: (1) da se istraže efekti treninga opterećenja slobodnim tegovima (ST) i efekti treninga opterećenja elastičnim gumama (EG) na varijable snage (tj. maksimalna izometrijska sila [$F_{\max}$] i maksimalni potisak sa klupe sa 1 ponavljanjem [1RM UDPG]) jer relacija L–V nije pouzdana procedura za istraživanje maksimalnih teoretskih karakteristika sile i snage tokom aktivnosti bacanja, (2) da se istraži validnost metode dve tačke u odnosu na metodu više tačaka i (3) da se istraži povezanost između varijabli brzine i snage nakon treninga ST i EG. Postavljeni su i pojedinačni *ciljevi* istraživanja (realizovani kroz dva eksperimenta): (1) ispitivanje linearnosti F–V relacije pri šutu lopte jednom rukom, (2) ispitivanje linearnosti F–V relacije pri izbačaju lopte sa grudi, (3) istraživanje efekata treninga pri različitim vrstama opterećenja na mišićnu brzinu i silu prilikom izbačaja rukometne lopte, (4) istraživanje efekata treninga pri različitim vrstama opterećenja na mišićnu brzinu i silu prilikom izbačaja lopte sa grudi.

U eksperiment je bilo uključeno trideset studenata Univerziteta u Beogradu podeljenih u grupe u odnosu na vrstu opterećenja koju su koristili u trenažnom procesu: *Grupa 1* (ispitanici su trenažni proces izvodili uz primenu elastičnih guma kao tip spoljašnjeg elastičnog opterećenja, $n = 10$), *Grupa 2* (ispitanici su trenažni proces izvodili uz primenu tegova kao vid spoljašnjeg inercionog opterećenja, $n = 10$), *Grupa 3* (kontrolna grupa koju čine ispitanici koji nisu u trenažnom procesu). Ispitanici su u grupe podeljeni metodom slučajnog uzorka. Svim ispitanicima su merene *visina tela* (*VT*) i *masa tela* (*MT*). Merenja su vršena dva puta. Prvo, inicijalno merenje, vršeno je pre početka trenažnog procesa koji je bio sproveden šest nedelja i obuhvatalo je sledeće vrste merenja: merenje maksimalne brzine izbačaja rukometne lopte uz pomoć 3D kamera (Qualisys Pro Reflex MCU 120 Motion Capture System, Sweden) namenjenih za snimanje pomeranja segmenata tela u prostoru, merenje maksimalne izometrijske sile pregibača u zglobu lakta (*m. biceps brachii*, *m. brachialis* i *m. brachioradialis*) i opružača u zglobu lakta (*m. triceps brachii*) korišćenjem izokinetičkog dinamometra (Kin-Com Chatex Corp., Chattanooga, TN) i merenje 1RM uski potisak sa grudi na Smith mašini prateći standardizovani protokol. Finalno merenje je izvršeno nakon šestonedeljnog trenažnog procesa i obuhvatalo je iste merne karakteristike kao i inicijalno merenje.

Deskriptivni podaci su prikazani kroz srednju vrednost i standardnu devijaciju (SD). Between-within ANOVA sa grupom za obuku (ST naspram EG), kao i Between i vreme (pre treninga opterećenja i nakon treninga opterećenja) kao faktori unutar učesnika, primenjeni su na brzinu izbačaja rukometne lopte i brzinu izbačaja košarkaške lopte, V_0 parametar, $F_{\max}$ i 1PM UDPG. U slučaju značajnih razlika, za poređenje razlika korišćen je post-hock upareni t-test sa Bonferroni korekcijama, dok je veličina Cohen d effect size (ES) korišćena za procenu veličine tih razlika. Standardna greška procene (SEE) izražena u apsolutnim vrednostima kao i koeficijent varijacije (CV%) korišćeni su da bi se istražila validnost metode dve tačke u odnosu na metodu više tačaka, kao i validnost ove dve metode za procenu brzine izbačaja rukometne lopte. Cilj ovog istraživanja bio je istražiti učinak različitih vrsti opterećenja na BIRL, kao i mogućnost brze procene BIRL i V_0 metodom dve tačke. Glavni nalazi pokazali su da: (1) obe metode treninga su poboljšale kapacitet brzine, međutim, veličina ovog prirasta bila je veća za ST grupu, (2) nema razlike u veličini BIRL i V_0 kada se dobija metodom dve tačke i metodom više tačaka, (3) obe metode treninga značajno su povećale kapacitet snage ispitanika, iako je veličina promena bila mala za $F_{\max}$ i 1PM UDPG u ST i EG grupama, umerena za 1PM UDPG u ST grupi, a velika za

$F_{\max}$ u grupi EG i (4) korelacije između varijabli snage i brzine generalno su bile nedosledne i trivijalne do umerene. Ukratko, ST je efikasnija metoda treninga za povećanje kapaciteta brzine mišića uključenih u bacanje rukometne lopte, dok se L–V odnos može pouzdano koristiti za procenu BIRL-a i V_0 i to bi se po mogućnosti trebalo učiniti modelovanjem metode dve tačke.

Glavna novina istraživanja je da direktno upoređuje efektivnost dva često korišćena programa treninga na BIRL i V_0 . Takođe, interesantno je to da smo primetili veće pomake u BIRL i V_0 nakon treninga sa slobodnim tegovima u poređenju sa treningom sa elastičnim gumama. Moguće objašnjenje za ovaj rezultat može biti stvarna mehanika pokreta. Konkretno, kada su učesnici izvodili vežbe koristeći EG, stvarno opterećenje ide od nižeg ka višem nivou, dok elastična traka izdužuje, što je suprotan mehanizam od stvarnog bacanja tokom kojeg bi mišići trebalo razviti više snage na početku u odnosu na kraj pokreta.

I ST i EG modeli treninga povećali su veličinu promenljive snage, iako su učesnici koji pripadaju ST grupi povećali više od 1PM UGPG, dok su učesnici koji pripadaju EG grupi povećali više $F_{\max-a}$. Povećanje u kapacitetu brzine u našoj studiji nisu praćeni istim pomacima kapaciteta snage i obrnuto. Svi ovi nalazi govore u prilog neophodnosti istraživanja kapaciteta snage mišića uključenih u akciju bacanja rukometne lopte odvojeno od procene brzine izbačaja. Moguće ograničenje ove studije je da nismo uključili rukometaše kao učesnike zbog njihovog gustog rasporeda tokom sezone. Buduća istraživanja bi trebalo da istraže da li se ista metodologija (ili metoda dve tačke) može primeniti za procenu BIRL i V_0 amaterskih i profesionalnih rukometaša, kao i da li će ST trening biti efikasniji od EG treninga.

Ključne reči: brzina, sila, tip, inerciono opterećenje, elastično opterećenje

Naučna oblast: Sport i fizičko vaspitanje

Uža naučna oblast: Opšta motorika čoveka

UDKbroj: 796.012.133(043.3)

Summary

Effects of different load types on the force–velocity relationship in one-handed and two-handed throwing of the ball

In addition to causing many positive biological adaptations (or, muscle mass shifts, fat loss, bone density increases, etc.), well-designed resistance training stimulates an important impact on athletic performance improvements. Even short programs have shown that they are effective in improving the speed of sprinting, jumping and throwing capacity of various athletes. Many variables should be considered when programming training, such as intensity, volume, frequency of training, order of exercises, duration of rest intervals, etc. However, there is another variable that is less commonly considered, but can significantly affect the outcomes of training programs and it is the type of resistance. In particular, a similar number of repetitions and series, the relative load and breaks between repetitions performed using different types of resistance led to different musculoskeletal adaptations. The most commonly used types of resistance are inertial loads and elastic bands. However, there is no specific explanation regarding which training is more effective, given that different types of resistance have been shown to cause pronounced adaptations in the muscles.

In this regard, a number of objectives have been set: (1) to investigate the effects of free weight training (FW) and the effects of elastic band load training (EB) on power variables (i.e. maximum isometric force [$F_{\max}$] and maximum bench thrust with 1 repetition [1RM BP]) because the L–V relation is not a reliable procedure for investigating the maximum theoretical characteristics of force and strength during throwing activities, (2) to investigate the validity of the two-point method versus the multi-point method, and (3) to investigate the association between the velocity and strength variables after FW and EG training. Individual *research* goals were also set through experiments (1) testing the linearity of the F–V relation when throwing the ball with one hand, (2) testing the linearity of the F–V relation when throwing the ball from the chest, (3) to investigate the effects of different types of loads training on muscle speed and force during handball throwing, (4) to investigate the effects of at different types loads training on muscle speed and force during chest ball throwing.

Thirty students of the University of Belgrade were included in the experiment, divided into groups, in relation to the type of load they used in the training process: *Group 1* (subjects performed the training process with the use of elastic band as a type of external elastic load, $n = 10$), *Group 2* (the subjects performed the training process with the use of weights as a form of external inertial load, $n = 10$), *Group 3* (control group consisting of subjects who are not in the training process). The subjects were divided into groups by the method of random sample. All subjects were measured *body height (BH)*, *body mass index (BMI)*. Measurements were made twice: the first initial measurement was made before the start of the training process, which was conducted for six weeks. and they measured the maximum velocity of the handball throwing with 3D cameras. (Qualisys Pro Reflex MCU 120 Motion Capture System, Sweden) intended for recording the movement of body segments in space, measuring the maximum and isometric force of the flexor in the elbow joint (*m. biceps brachii*, *m. brachialis* i *m. brachioradialis*) and a extensor in the elbow joint (*m. triceps brachii*) using an isokinetic dynamometer (Kin-Com Chatex Corp., Chattanooga, TN) and measuring 1RM narrow bench press on a Smith machine following standardized protocol. The final measurement was made after a six-week training process and included the same measurement characteristics as the initial measurement.

Descriptive data are presented through mean and standard deviation (SD). Between-within ANOVA with training group (FW vs. EB training group) as between- and time (pre-RT intervention vs. post-RT intervention) as within- participant factors was applied on the HTV, V_0 parameter, $F_{\max}$ and 1RM BP. In case of significant differences, a post-hock paired t-tests with Bonferroni corrections were used to compare differences, while Cohen d effect size (ES) was used to evaluate the magnitude of those differences. The standard error of the estimate (SEE) expressed in absolute values as well as a coefficient of variation (CV%) were used to explore the validity of the two-point method with respect to the multiple-point method and also validity of the two- point and multiple-point method for estimating HTV. The aim of this study was to explore the effectiveness of the FW and EB RT programs over the velocity capacity as well as the possibility to quickly estimate HTV and V_0 capacity through two-point method. The main findings showed that (1) both training methods improved velocity capacity, however, the magnitude of this increment was higher for the FW group, (2) there is no difference in the magnitude of the HTV and V_0 when obtained using two- and multiple-point methods, (3) both training methods significantly increased strength capacity of the participants, although the magnitude of the changes

was small for $F_{\max}$ and 1RM BP in the FW and EB groups respectively, moderate for 1RM BP in the FW group, and large for $F_{\max}$ in the EB group, and (4) correlations between strength and velocity variables were generally inconsistent and trivial to moderate. Summing up, FW is more effective training method for increasing velocity capacity of the muscles involved in handball throw, while L–V relationship can be confidently used for estimating HTV and V_0 and it should be preferably done by modelling two-point method.

The main novelty of our study is that it directly compares effectiveness of two commonly used training programs on HTV and V_0 . What is also interesting that we observed greater increments in the HTV and V_0 following a FW RT compared to EB RT. The possible explanation for this result may be the actual mechanics of the movement. Specifically, when participants performed exercises using EB, the actual loading goes from lower to higher as the elastic band elongates, which is the opposite mechanism to an actual throw during which the muscles need to develop more force at the beginning compared to the end of the movement.

Both FW and EB training modalities increased the magnitude of strength variables, although participants belonging to the FW group incremented more 1RM BP, while participants belonging to the EB group incremented more $F_{\max}$. Increments in velocity capacity in our study were not follow by the same increments of the strength capacity and vice versa. All these findings speak in favour of necessity to explore strength capacity of the muscles involved in the throwing action separately from velocity assessment. Possible limitation of this study is that we have not included handball players as participants due to their dense schedule during the season. Future studies should explore if the same methodology (i.e., two-point method) can be applied for assessing HTV and V_0 of the amateur and professional handball players, and whether FW training will be also shown as the more effective strategy.

Keywords: speed, force, type, inertial load, elastic load

Scientific area: Sport and physical education

Field of Academic Expertise: General human kinetics

UDK Number: 796.012.133(043.3)

Pregled skraćenica

$1\ PM$ – jedan ponavljajući maksimum

A – mehanički rad

a – ubrzanje

$ANOVA$ – analiza varijanse

$BIRL$ – brzina izbačaja rukometne lopte

CV – koeficijent varijacije

F – sila

F_{max} – maksimalna sila

$F_{max\ tb}$ – maksimalna sila opružaća u zglobu lakta

F_{opt} – optimalna sila

$F-V$ – relacija, relacija sila–brzina

IMT – indeks mase tela

$L-V$ – relacija, relacija opterećenje–brzina

$MBIKL$ – Maksimalna brzina izbačaja košarkaške lopte

$MBIRL$ – maksimalna brzina izbačaja rukometne lopte

MT – masa tela

P_{max} – maksimalna snaga

p – vrednost verovatnoće nastanka greške

P – snaga

R^2 – koeficijent determinacije

r – Pirsonov (interklasni) koeficijent korelacije

ΔS – pređeni put

SD – standardna devijacija

Δt – promena vremena

UDPG – uski dvoručni potisak sa grudi

V – brzina

V_{max} – maksimalna brzina

V_{opt} – optimalna brzina skraćanja

VT – visina tela

Sadržaj

Informacije o mentoru i članovima komisije	iii
Predgovor	v
Izjave zahvalnosti	vi
Rezime	vii
Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila–brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte	vii
Summary	x
Effects of different load types on the force–velocity relationship in one-handed and two-handed throwing of the ball.....	x
Pregled skraćenica.....	xiii
1. Uvod	1
1.1. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti.....	3
1.2. Mehanička svojstva mišića.....	9
1.2.1. Relacija sila–brzina.....	10
1.2.2. Podela motoričkih veština.....	19
2. Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti komponenti opterećenja.....	21
3. Testovi za procenu brzine šuta.....	26
4. Eksperiment.....	27
4.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja	27
4.2. Hipoteze istraživanja.....	29
5. Metode istraživanja	30
5.1. Uzorak ispitanika	30
5.2. Uzorak varijabli	31
5.2.1. Procena morfološkog statusa.....	31

5.2.2. Procena motoričkog statusa.....	33
5.3. Tok i postupci istraživanja	40
5.4. Statistička obrada podataka.....	43
5.4.1. Prikupljanje i analiza podataka	43
5.4.2. Statistička analiza	44
6. Rezultati	45
6.1. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika kompletnog uzorka	45
6.2. Deskriptivni statistički pokazatelji morfoloških karakteristika ispitanika prema grupama	46
6.3. Rezultati komparativne analize podataka	48
6.3.1. Parametri brzine izbačaja rukometne lopte (V_0 i V).....	48
6.3.2. Parametri brzine izbačaja košarkaške lopte (V_0 i V).....	53
6.4. Validnost metode dve tačke.....	57
6.5. Parametri jačine (F_{max} i 1PM potiska sa grudi)	60
7. Diskusija.....	61
8. Zaključak	65
9. Potencijalni značaj istraživanja.....	66
10. Literatura.....	67
Prilozi	79
PRILOG 1.	80
Izjava o autorstvu	80
PRILOG 2.	81
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada	81
PRILOG 3.	82
Izjava o korišćenju	82

PRILOG 4. 84

Odobrenje Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univeziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu doktorske disertacije..... 84

PRILOG 5. 85

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA PROCEDUROM TESTIRANJA 85

PRILOG 6. 87

Kopija upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti kod ispitanika..... 87

PRILOG 7. 89

Rad u časopisu sa SCI liste, kopija naslovne strane objavljenog rada..... 89

Biografija autora 90

Slika 1. Prikaz Hilove krive, F–V relacija (puna linija) i P–V relacija (isprekidana linija). F_{opt} odgovara mišićnoj sili koja je potrebna da bi se savladalo optimalno spoljnje opterećenje za šta je potrebna V_{opt} (optimalna brzina skraćenja) kako bi se razvila maksimalna snaga mišića (Hill, 1938).....11

Slika 2. Relacije sila–brzina i sila–snaga za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića. Sila, brzina i snaga su normalizovane u odnosu na maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}), maksimalnu brzinu skraćenja mišića (V_{max}) i maksimalno ispoljavanje snage (P_{max}) mišića. (Cormie i sar., 2011).....12

Slika 3. Teorijska kriva relacije sila–brzina za pregibače zgloba lakta predstavljena je punom linijom, a za opružače zgloba lakta isprekidanom linijom (Baechle & Earle, 2008).....13

Slika 4. Linearna F–V relacija između kočione sile točka i brzine okretanja pedala prikazana za tri ispitanika (Dickinson, 1928).....14

Slika 5. F–V relacija (puna linija) i P–V relacija (isprekidana linija) kod višezglobnih pokreta. F_{opt} predstavlja optimalnu silu, a V_{opt} optimalnu brzinu za razvoj maksimalne snage (Cormie et al., 2011).....17

Slika 6. Prikaz Antropometra po Martinu i uređaja za bioimpedancu (InBody 720m, USA) korišćenih za procenu morfološkog statusa.....31

Slika 7. Početni položaj ispitanika u testu izbačaja rukometne lopte dominantnom rukom.....	34
Slika 8. Završni položaj ispitanika u testu izbačaja rukometne lopte dominantnom rukom.....	34
Slika 9. Prikaz testa ispoljavanja maksimalne izometrijske sile ($F_{\max}$) vučenjem iznad glave dominantnom rukom, početni položaj	35
Slika 10. Prikaz testa ispoljavanja maksimalne izometrijske sile ($F_{\max}$) vučenjem iznad glave dominantnom rukom, završni položaj	35
Slika 11. Prikaz početnog položaja ispitanika u testu izbačaj košarkaške lopte sa grudi.....	37
Slika 12. Prikaz završnog položaja ispitanika u testu izbačaj košarkaške lopte sa grudi.....	37
Slika 13. Prikaz početnog položaja tela ispitanika u testu 1PM uski dvoručni potisak sa grudi.....	38
Slika 14. Prikaz završnog položaja tela ispitanika u testu 1PM uski dvoručni potisak sa grudi.....	38
Slika 15. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj rukometne lopte kod ispitanika koji su radili trening sa slobodnim tegovima.....	48
Slika 16. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj rukometne lopte kod ispitanika koji su radili trening sa elastičnim gumama.....	48
Slika 17. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj košarkaške lopte kod ispitanika koji su radili trening sa slobodnim tegovima.....	52

Slika 18. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj košarkaške lopte kod ispitanika koji su radili trening sa elastičnim gumama.....	53
Slika 19. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj rukometne lopte za ispitanike koji su radili trening sa slobodnim tegovima.....	56
Slika 20. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj rukometne lopte za ispitanike koji su radili trening sa elastičnim gumama.....	56
Slika 21. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj košarkaške lopte za ispitanike koji su radili trening sa slobodnim tegovima.....	57
Slika 22. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj košarkaške lopte za ispitanike koji su radili trening sa elastičnim gumama.....	57
Tabela 1. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika kompletnog uzorka (n = 29).....	44
Tabela 2. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika prema grupama.....	46
Tabela 3. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja.....	49
Tabela 4. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja – $V_{0.5}$, postignuta brzina prema 0,5 kg; V_1 , brzina postignuta prema 1 kg; $V_{1.5}$, postignuta brzina prema 1,5 kg; V_2 , brzina postignuta prema 2 kg; $V_{2.5}$, postignuta brzina prema 2,5 kg; V_3 , postignuta brzina prema 3 kg; AS, aritmetička sredina; SD standardna devijacija; % razlika u povećanju brzine. Podebljani brojevi predstavljaju značajnu razliku.....	51
Tabela 5. Veličina promena u izlaznoj brzini košarkaške lopte nakon treninga opterećenja – $V_{0.28}$, postignuta brzina prema 0,28 kg; $V_{0.56}$, postignuta brzina prema 0,56 kg; V_1 , brzina postignuta prema 1 kg; V_2 , brzina postignuta prema 2 kg; V_3 , postignuta brzina prema 3 kg; V_4 , brzina postignuta prema 4 kg; V_5 , postignuta brzina prema 5 kg; V_6 , postignuta brzina prema 6 kg; AS,	

aritmetička sredina; SD standardna devijacija; % razlika u povećanju brzine. Podebljani brojevi predstavljaju značajnu razliku.....54

Tabela 6. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja – V_0 , maksimalna teorijska brzina; $V_{0.28}$, postignuta brzina prema 0,28 kg; $V_{0.56}$, postignuta brzina prema 0,56 kg; V_1 , brzina postignuta prema 1 kg; V_2 , brzina postignuta prema 2 kg; V_3 , postignuta brzina prema 3 kg; V_4 , postignuta brzina prema 4 kg; V_5 , postignuta brzina prema 5 kg; V_6 , postignuta brzina prema 6 kg; ES, effect size; Alpha je podešena na $p \leq 0,05$. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.....55

Tabela 7. Veličina promena u izlaznoj snazi nakon treninga opterećenja – F_{max} , maksimalna izometrijska brzina; 1PM UDPG, 1 – ponavljanje maksimalnog protiska na klupi; ES, effect size. Alpha je podešena na $p \leq 0,05$. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.....59

1. Uvod

Bavljenje sportom u prošlosti predstavljalo je igru i zadovoljstvo pojedinca, dok danas pojam sport podrazumeva motoričke aktivnosti promenljive i dinamične prirode u kojima kroz trening i znanje ciljano dolazi do potpunog izražaja veština, kvaliteta i osobina sportiste. Podizanje granica sopstvenih sposobnosti i ostvarenje sportskog uspeha predstavlja lični poduhvat sportiste i zajednički cilj svih onih koji su uključeni u ostvarenje rezultata. Bavljenjem sportom sportisti se pružaju potencijalne mogućnosti za zadovoljenjem sopstvenih potreba za aktualizacijom, pripadnošću, stvaralaštvom i sl. Da bi se sportski rezultat ostvario, potrebno je da sportista poseduje visok nivo spremnosti koji je u velikoj meri uslovljen njegovim motoričkim sposobnostima.

Od početka razvoja sporta, motoričke sposobnosti se smatraju najvažnijom karakteristikom sportiste. Definisane su kao nužan uslov svakog učenja motoričkih zadataka neke određene tehnike. One u različitim aktivnostima objedinjuju psihološke, funkcionalne i biohemijske procese. Nepravilno usklađene motoričke sposobnosti sportiste onemogućavaju postizanje vrhunskih rezultata. Na sve motoričke sposobnosti moguće je uticati, to je posebno važno u sportskim aktivnostima, kako u slobodnom vremenu tako i u vrhunskom sportu. Izučavanjem motoričkih sposobnosti (Kurelić, Momirović, Stojanović, Šturm, Radojević, Viskiće-Štalec, 1975) naglašava se njihova kompleksnost, vrši se njihova osnovna podela na jačinu, snagu, brzinu, koordinaciju, gipkost, izdržljivost i agilnost. Predstavljene su kao obeležja kojima se uspeh u određenim sportskim aktivnostima može objasniti kroz manifestaciju različitih vrsta pokreta među kojima su zastupljeni tzv. balistički pokreti. Balistički pokreti imaju za cilj da ubrzaju masu tela ili nekih njegovih segmenata, odnosno da se pri koncentričnoj mišićnoj kontrakciji ostvari najveća moguća brzina (Samozino et al., 2012). Mnoga su istraživanja usmerena na poboljšanje mišićnog da se ispolji visok nivo sile pri velikim brzinama kretanja, a time i pri maksimalnoj snazi. Razvoj maksimalne snage većine autora smatra glavnim preduslovom za visok nivo izvođenja balističkih pokreta (Marković i Jarić, 2007a; Yamauchi i Ishii, 2007; Cormie i sar., 2010a; Bobbert, 2014; Samozino i sar., 2014). Najčešći vid balističkih pokreta jesu pokreti skakanja i bacanja. Rukomet, fudbal, košarka su sportske igrice u kojima se takmičari susreću sa izazovom savladavanja fizičkog otpora protivnika, da li je to duelom, ili višim skokom ili što bržem dodavanju ili šutu.

Pregled dosadašnjih istraživanja otkriva probleme povezane sa izvođenjem balističkih pokreta mišića ruku, naročito relacije sila–brzina (u daljem tekstu F – V relacija). Ovim radom moguće je rešavanje problema F – V relacije i tako doprineti razvoju u oblasti sporta, fiziologije, fizikalne medicine i rehabilitacije.

Pored izazivanja mnogih pozitivnih bioloških adaptacija (tj. povećanje mišićne mase, gubitak masti, povećanje gustine kostiju itd.) dobro osmišljeni programi treninga opterećenja (TO) imaju važan uticaj na poboljšanje atletskih performansi. Čak su se i kratki programi treninga sa opterećenjem pokazali efikasnim u poboljšanju brzine tokom sprinta, sposobnosti skakanja i bacanja u brojnim sportovima (Baena-Marín et al., 2022). Veliki broj varijabli, kao što su intenzitet, obim, učestalost treninga, redosled vežbi, trajanje intervala odmora itd. treba uzeti u obzir prilikom programiranja treninga sa opterećenjem. Međutim, postoji još jedna varijabla koja se ređe razmatra, ali može značajno uticati na rezultate programa treninga sa opterećenjem, a to je tip otpora. Naime, prethodne studije su pokazale da programi treninga opterećenja sličnih karakteristika (tj. sličan broj ponavljanja i serija, relativno opterećenje i pauze između ponavljanja), izvedene korišćenjem različitih tipova opterećenja, dovele su do različitih koštano-mišićnih adaptacija (Andersen et al., 2015; Rivière et al., 2017; Shoepe et al., 2010). Najčešće korišćeni tipovi opterećenja koji su doveli do tih adaptacija su treninzi slobodnim tegovima (ST) i elastičnim gumama (EG). Ipak, ne postoji konkretan odgovor koji je trening efikasniji, pošto se pokazalo da različiti tipovi opterećenja izazivaju različite mišićne adaptacije. Program sa slobodnim tegovima je nešto efikasniji za povećanje snage. Pokazao se efikasnim za poboljšanje sposobnosti sprinta, skakanja i bacanja u različitim sportovima (Baena-Marín et al., 2022). Program sa elastičnim gumama zahvalniji je za razvoj snage (Djuric et al., 2016).

1.1. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti

Motoričke sposobnosti predstavljaju temelj za obavljanje specifičnih motoričkih zadataka kao što su svakodnevno kretanje, vežbanje i takmičenje. „*Motoričke sposobnosti predstavljaju kompleksne mogućnosti čoveka za manifestaciju kretnih struktura koje objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese. Pri tome se motorička svojstva odnose na bitno različite kvalitete ispoljene u definisanim karakteristikama kretanja, zatim na kvalitete koji su uslovljeni istim fiziološkim i biomehaničkim mehanizmima, kao i sličnim psihološkim svojstvima i, konačno, koji su iskazani u istim jedinicama mere*“ (Zatsiorski, 1969). Sa aspekta motoričkih sposobnosti čoveka, osobine mišića ispoljene kroz silu, brzinu i snagu imaju veliki udeo u uspešnosti vršenja fizičkih aktivnosti.

Sila predstavlja sposobnost savladavanja otpora ili podnošenja opterećenja prvenstveno napetošću mišića (Zatsiorski, 1969). Može se teorijski smatrati i mehaničkom karakteristikom i ljudskom sposobnošću (Bompa, 2009). Sila kao mehanička karakteristika, prema drugom Njutnovom zakonu, predstavlja proizvod mase i ubrzanja ($F = m \times a$). Jedinica za silu je njutn (N), što predstavlja količinu sile potrebne da deluje na telo mase od jednog kilograma ga ubrza za 1 metar po sekundi na kvadrat (kg m/s^2). Kada se govori o sportu i sportskim disciplinama, njih pored ostalog karakteriše i određeno ubrzanje tela, segmenta tela ili rekvizita, odnosno promena njihove brzine u jedinici vremena. Za potrebe istraživanja sila se sagledava kao element ljudskog pokreta (faktor premeštanja tela, njegovih delova ili drugih materijalnih tela u prostoru), odnosno kao sposobnost čoveka za izvršavanje određene motoričke aktivnosti. Sila se definiše kao sposobnost osobe da deluje ili se odupre fizičkim objektima iz spoljašnjeg okruženja, mišićnim kontrakcijama koje se prenose na telo sistemom poluga (Željaskov, 2004).

Budući da je sila mehanička veličina, u literaturi se naziva i jačinom (Jaric & Kukolj, 1996). Jačina predstavlja sposobnost da se ispolji sila, odnosno jačina je sposobnost savladavanja spoljašnjeg i unutrašnjeg otpora (Baechle & Earle, 2008). Slično njima, Kukolj (2006) definiše jačinu kao sposobnost mišića da funkcioniše velikim silama u statičkim uslovima ili protiv velikog otpora pri malim brzinama skraćanja mišića.

Sila predstavlja važan element koji osigurava pravilan rad svih delova motornog sistema, odnosno smatra se merom ljudskog izvođenja kretanja (faktor premeštanja tela u prostoru).

Kao takva, sila predstavlja vezu i funkciju svih neuromuskularnih elemenata - neuralnih, mišićnih i mehaničkih faktora (Enoka, 1988). Takođe se definiše kao maksimalna sila koja se javlja pri maksimalnoj voljnoj kontrakciji u određenim uslovima (Abernethy, Wilson & Logan, 1995).

Skeletni mišići čine najveći deo težine ljudskog tela, a sastoje se od mišićnog i vezivnog tkiva. Mišićno tkivo sastoji se od mišićna vlakna okruženih tankim slojem vezivnog tkiva. Da bi se pokret odvijao u odgovarajućem zglobu, potrebno je da se tokom kontrakcije u mišićnim vlaknima stvara sila koja preko tetiva deluje na koštani sistem i ujedno uzrokuje pomeranje dela tela. Pomeranjem različitih delova tela dolazi do kretanja. Primarna funkcija skeletnih mišića je stvaranje sile tokom kontrakcije pretvaranjem hemijske energije u mehanički rad (A) (Frontera & Ochala, 2015).

Na ispoljavanje sile kao posledice naprezanja mišića utiču (Kukolj, 2006):

- poprečni presek mišića,
- mišićna dužina,
- promena u dužini mišića i brzini te promene,
- angažovanje centralnog ili perifernog pripoja mišića,
- mišićni režim rada,
- količina spoljašnjeg opterećenja,
- jačina suprotstavljanja antagonističkih mišića itd.

Odnos između poprečnog preseka mišića i primenjene sile je direktno povezan. Što je veći fiziološki presek mišića, to je veći razvoj sile i obrnuto. Fiziološki presek mišića definiše se kao zbir pojedinačnih preseka svih mišićnih vlakana (Jarić, 1997). Kod vretenastih mišića površina fiziološkog preseka jednaka je najvećoj površini poprečnog preseka mišića, jer su sva vlakna paralelna uzdužnoj osi mišića, dok je kod perastih ta vrednost daleko veća, jer je zastupljenost mišićnih vlakana veća.

Kako se telo kreće, tako se i sila se menja jer se menja i mišićna dužina. U karakterističnim uslovima kada se mišić ili maksimalno skraćuje ili maksimalno izdužuje sila je manja. Pokretom se menja položaj segmenta tela u zglobu, pa se samim tim menja krak (poluga) na koji mišić deluje, a sa tim i ispoljena sila mišića (Nedeljković, 2016).

Nivo ispoljene sile zavisi i od karakteristika mišićnog rada. Upravo to određuje različite načine generisanja mišićne sile. Savladavanje otpora može se realizovati u uslovima statičkog i dinamičkog režima mišićnog rada. Statičko naprezanje mišića shvata se kao manifestacija sile kada se dužina mišića ne menja ili je promena dužine mišića spora. Sila tada varira od minimalne do maksimalne. Tokom istezanja mišića u dinamičkim uslovima dolazi do promene dužine mišića, različite brzine promene dužine mišića, kao i promenu sile, odnosno savladanog otpora (Kukolj, 2006).

Posmatrajući savladan otpor i ubrzanje pri savladavanju otpora, uočavaju se razlike u ispoljavanju sile (spora sila, brza sila i eksplozivna sila). Sporu silu karakteriše savladavanje maksimalnog otpora pri čemu je pomeranje opterećenja malo ili gotovo da ne postoji. Karakteristika brze sile je savladavanje submaksimalnog opterećenja submaksimalnim ubrzanjem. Eksplozivnu silu karakteriše savladavanje submaksimalnog opterećenja pri maksimalnom ubrzanju pokreta (Kuznecov V.V, 1975).

Sila je u direktnoj vezi sa vremenom, samim tim i brzinu njene promene nazivamo brzinom generisanja sile. *Eksplozivnom silom* zovemo maksimalno ispoljenu silu za što kraći vremenski period. Dok u izometrijskom režimu rada gde nema promene u dužini mišića i nazivamo je *izdržljivost u sili* (Kukolj, 2006).

Posmatrajući odnos između sile jednog i drugog vežbača, te odnos vežbača i opreme koju koristi, važno je objasniti pojmove apsolutne i relativne sile. Apsolutna sila predstavlja meru maksimalnog opterećenja mišića, a njen direktan pokazatelj je maksimalno savladivo, odnosno podignuto opterećenje ili najveća spoljna sila koja se može razviti. Relativna sila označava silu ostvarenu po kilogramu mase vežbača (Kurelić, 1967; Zatsiorsky, 1969; Verhošanski, 1979). Apsolutna sila u toku rasta i razvoja čoveka uvećava se sve do 20-ih, 30-ih godina, a zatim postepeno opada. Najviši nivo relativne sile dostiže se ranije, u periodu od 13, 14. godine do 16, 17. godine (Kukolj, 2006).

Brzina kao motorička sposobnost je sposobnost da pod određenim uslovima izvede pokret ili da se kreće što je moguće brže, pod pretpostavkom da spoljašnji otpor nije veliki i da aktivnost ne traje dugo, tako da ne dolazi do umora (Zaciorski, 1975). Kukolj (2006) dopunjuje definiciju brzine navodeći da je brzina kretanje čija kompleksnost nije velika, čime bi ispitanik bio skoncentrisan samo na izvođenje pokreta i realizaciju maksimalnom brzinom, ali ne i na mehanizam izvođenja pokreta.

Brzina se manifestuje kao latentno vreme motoričke reakcije (brzina reagovanja), brzini pojedinog pokreta i frekvencija pokreta. Brzina reakcije je vreme između podražaja i početka izvođenja pokreta. Brzina reagovanja zavisi od urođenih dispozicija, individualnog je karaktera, tako da brzina reagovanja različitih segmenata tela iste osobe ima slične karakteristike i podrazumeva voljnu reakciju na očekivani stimulus (Leonardi, 1991). Brzina pojedinačnog pokreta podrazumeva da za izvođenje određenog poteza potrebno najmanje vremena. Učestalost pokreta u jedinici vremena određeno je brzinom mišićnog odgovora na nervni nadražaj koju predstavlja brzina opuštanja nakon kontrakcije i stanje mišića antagonista (Ivojlov, 1980). U sportskoj praksi sve ove manifestacije brzine najčešće se ispoljavaju kompleksno, uz izvesnu dominaciju jedne od njih (Željaskov, 2004). Zato se na razvoju svih brzinskih elemenata mora raditi zasebno.

Za razliku od ostalih motoričkih sposobnosti brzina je 95% genetska (Malacko & Rađo, 2004) i zavisi od kompozicije brzih i sporih mišićnih vlakana sportiste, odnosno procentualnog učešća brzih mišićnih vlakana. Ali genetski predodređenost, odnosno potencijal, može ostati neiskorišćen ukoliko se treningom ne podstakne razvoj. Stoga, od genetski spore osobe nikada se ne može stvoriti brza osoba, dok genetski brza osoba pravilnim treningom može postati zaista brza. Što je veća zastupljenost brzih mišićnih vlakana u mišićima čoveka, to je moguće očekivati bržu reakciju i snažniju mišićnu kontrakciju. Važno je napomenuti da brzina zahteva visok stepen neuromišićne aktivacije i dobru motornu koordinaciju (Mayr & Zaffagnini, 2015).

Snaga se odnosi na sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama, uz umeren spoljašnji otpor pri velikim brzinama skraćanja mišića (Kukolj, 2006). Mehanički, snaga (P) je definisana kao vreme (t) potrebno da se savlada određeni rad (A) jednačina (2.1), gde je rad proizvod sile (F) koja deluje na predmet i puta (ΔS) koju taj predmet pređe u pravcu u kom deluje sila (F) jednačina (2.2). Snaga (P) se može izračunati i kao proizvod sile (F) koja deluje na određeni predmet i brzine (V) tog predmeta u pravcu u kome sila deluje jednačina (2.3).

To se može prikazati formulama:

$$P = A / \Delta t \quad (2.1)$$

$$A = F \times \Delta S \quad (2.2)$$

$$P = F \times V \quad (2.3)$$

Veliki broj faktora uslovljavaju maksimalno ispoljavanje snage. Njihova podela je u zavisnosti od karakteristika mišića i deli se na morfološke, neuralne i mehaničke faktore (Pazin, 2013).

Manifestovanje maksimalne snage određena je kontraktilnim sposobnošću mišića na koju utiču *morfološki faktori*, pri čemu se razlikuju sledeći tipovi mišićnih vlakana (sporooksidativni (Tip I), brza oksidativni (Tip IIa), brzi glikolitički (Tip IIb) i Tip IIc, koji predstavlja mišićna vlakna sa svojstvima između Tipova IIa i IIb) i arhitektura mišićnih vlakana (vretenasti, perasti, lepezasti i četvrtasti mišići).

Podela mišićnih vlakana temelji se na različitoj brzini skraćivanja mišića, tj. na brza i spora mišićna vlakna. Spora, crvena mišićna vlakna odlikuju se boljom prokrvljenošću čime je oksidativni kapacitet viši, a to rezultira većom otpornošću na umor. U strukturi belih brzih mišićnih vlakana nalazi se veći sadržaj glikogena, čime se omogućuje trening visokog intenziteta, odnosno brži razvoj sile. Ako se posmatraju maksimalne vrednosti sile, nema velike razlike između brzih i sporih mišićnih vlakana, čime se dovodi do većeg razvoja snage brzih mišićnih vlakana pod uticajem bržeg razvoja sile (Nedeljković, 2016).

Arhitektura mišićnih vlakna je ugao pod kojim se mišićna vlakna istežu u odnosu na njegovu uzdužnu osu i dužinu samih vlakana (Cormie et al., 2011). Arhitektura mišićnih vlakna značajno utiče na samu funkciju skeletnih mišića. Intenzitet mišićne sile i brzina njegovog skraćivanja u direktnoj je zavisnosti od toga kojoj grupi skeletni mišić pripada.

Neuralni faktori takođe utiču na razvoj maksimalne snage. Razvoj maksimalne snage zavisi od mogućnosti nervnog sistema da pravilno aktivira motorne jedinice. Motorne jedinice predstavljaju niz mišićnih vlakana koje inervira jedan alfa motorni neuron. Aktivaciju kontroliše nervni sistem i u mnogome zavisi je od intramuskularne i intermuskularne koordinacije (McMahon, 1984). Na intramuskularnu koordinaciju utiče broj aktivnih motornih jedinica, učestalost njihove aktivacije (prenos nervnih impulsa do mišićnih vlakana od strane alfa motoneurona) i njihova sinhronizacija rada. Intramuskularna koordinacija predstavlja međusobnu koordinaciju između aktiviranih agonista, antagonista i sinergista.

Na manifestaciju $P_{\max}$ takođe utiču i *mehanički faktori* u koje ubrajamo tip mišićne kontrakcije i mehanička svojstva mišića.

U *mehaničke faktore* koji utiču na ispoljavanje maksimalne snage ubraja se tip mišićne kontrakcije – koncentrična i ekscentrična kontrakcija i mehanička svojstva mišića. Skraćenje mišićnog vlakna predstavlja koncentričnu kontrakciju, odnosno koncentrični režim rada podrazumeva uslove u kojima je moment mišićne sile veći od momenta spoljašnje sile. Ekscentrična kontrakcija predstavlja izduženje mišićnog vlakna, odnosno ekscentrični režim rada podrazumeva uslove u kojima je moment mišićne sile manji od momenta spoljašnje sile. Ranije studije su pokazale da se pri pokretima koja uključuju ekscentrično-koncentričnu kontrakciju razvije veća maksimalna snaga, odnosno povratni režim rada mišića koji podrazumeva uslove u kojima koncentričnoj kontrakciji prethodi brza ekscentrična kontrakcija (Cormie et al., 2011; Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938).

Izražavanje mišićne sile, brzine i snage mišića odvija se pri svakodnevnim aktivnostima i zavisi od niza međusobno povezanih faktora koji su od velike važnosti za razumevanje mehaničkih karakteristika mišića.

1.2. Mehanička svojstva mišića

Različite sportske discipline zahtevaju različite motoričke sposobnosti sportiste koje igraju važnu ulogu za uspešno vršenje sportskih aktivnosti. Ne treba posmatrati kao odvojene motoričke sposobnosti, jer su brojne studije pokazala da su međusobno povezane. Mehanička svojstva (osobine) mišića se najbolje mogu objasniti veličinama kao što su sila, brzina i snaga (Zatsiorsky, 2000). McMahon (1984) opisuje mehanička svojstva mišića relacijama sila-brzina, sila-dužina i sila-vreme. Relacija sila-brzina objašnjava se kao odnos između sile kojom deluju skeletni mišići i brzine skraćivanja mišića koju mišići postižu u bilo kojem trenutku. Relacija sile-dužine pokazuje kako veličina sile koja se u mišiću generiše zavisi od njegove dužine (Cormie et al. 2011a). Relacija sila-vreme pokazuje koliko vremena treba mišiću da razvije svoju maksimalnu silu ili da uspostavi relativni ili apsolutni nivo sile.

Razumevanjem i sagledavanjem mehaničkih svojstava mišića, može se razumeti funkcija pokreta sportiste. Testiranje je veoma bitno i sastavni je deo sporta, rehabilitacije i terapije. U praksi se testiranje primenjuje da bi stručnjaci mogli da saznaju trenutno stanje sportiste ili pacijenta, da prate njegov napredak i da ih upoređuju sa drugim rezultatima. Na osnovu dobijenih rezultata prate se određeni efekti treninga ili rehabilitacije.

U cilju istraživanja primenjuju se raznovrsni testovi koji zavise od cilja testiranja. Najznačajniju primenu imaju testovi koji mogu da se sprovedu u laboratoriji i na terenu, te su jednostavni i ekonomični za izvođenje. Korišćenje motoričkog testa zahteva eksperimentalnu proveru metrijskih svojstava testa. Validnost, pouzdanost i osetljivost su osnovne metrijske karakteristike motoričkih testova (Currell & Jeukendrup, 2008). Definisanjem ovih metrijskih karakteristika postiže se i standardizacija primenjenog protokola testiranja.

Pri odabiru testova, uz procenu metrijskih karakteristika, od vitalne važnosti su i karakteristike datog sporta, iskustvo sportista, njegova obučenost, uzrast, pol, kao i spoljašnji faktori (Baechle & Earle, 2008).

1.2.1. Relacija sila–brzina

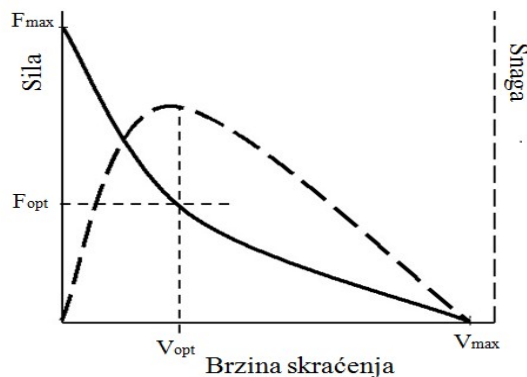
Početkom XX veka javljaju se prva interesovanja naučnika za proučavanje relacije sila–brzina (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Hill, 1922; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927). Interesovanje za ovu relaciju, naročito kod višezglobnih pokreta, nije se smanjilo ni danas. Naprotiv, od početka ovog veka do današnjih dana zabeležen je veliki broj istraživanja gorepomenute relacije.

Studije koje istražuju odnos sila–brzina mogu se podeliti u tri grupe:

- studije koje ispituju F–V relaciju na izolovanim mišićima,
- studije koje ispituju F–V relacije u pokretima jednog zgloba i
- studije koje ispituju F–V relacije pri višezglobnim pokretima.

Na izolovanom mišiću vršena su istraživanja koja su podrazumevala merenje sile i brzine *in vitro*. Za potrebe istraživanja uzimani su pojedinačno mišićno vlakno kako bi se proverile kontraktilne karakteristike, a zbog celokupnosti i generalizacije korišćeni su grupa mišićnih vlakana ili ceo mišić. Prilikom analiza mišić se nalazio izvan biološkog okruženja, a posmatrane su njegove kinetičke i kinematičke karakteristike. Hil je bio jedan od prvih koji je pokazao obrnut odnos između sile koju razvija mišić i brzinom kojom se mišić skraćuje. Pokazao je da na izolovanom mišiću žabe (*m. Sartorius*) brzine skraćivanja mišića opada sa povećanjem mišićne sile, što rezultiralo hiperboličnom relacijom sila–brzina (Hill, 1938).

Prikaz hiperbolične relacije sila–brzina, tzv. Hilove krive (puna linija) može se videti na slici 1.



Slika 1. Prikaz Hilove krive, F – V relacija (puna linija) i P – V relacija (isprekidana linija). F_{opt} odgovara mišićnoj sili koja je potrebna da bi se savladalo optimalno spoljnje opterećenje za šta je potrebna V_{opt} (optimalna brzina skraćenja) kako bi se razvila maksimalna snaga mišića. (Hill, 1938)

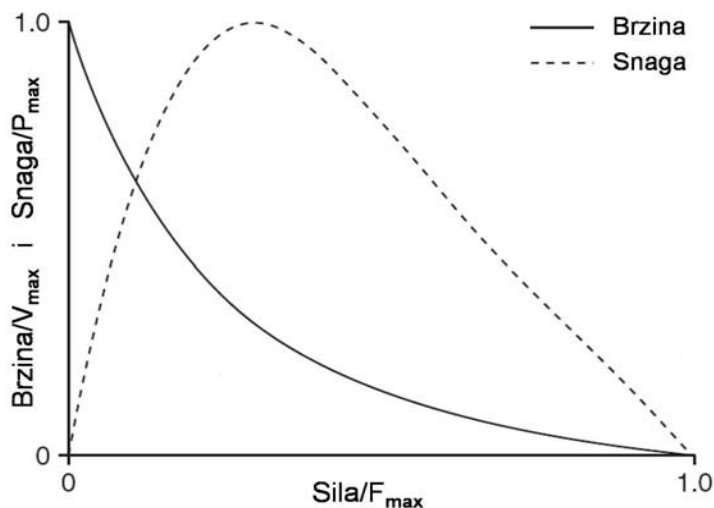
Maksimalna sila (F_{max}) određena je presekom Hilove krive sa vertikalnom osom. Dobijena tačka u preseku te dve linije odgovara maksimalnoj izometrijskoj sili koju mišić može da ostvari prilikom čega je brzina skraćenja jednaka nuli. Maksimalna brzina (V_{max}) određena je presekom Hilove krive sa horizontalnom osom. Dobijena vrednost odgovara maksimalnoj brzini skraćenja mišića bez dodatog opterećenja, odnosno kada je sila koju mišić ostvaruje jednaka nuli ($F = 0$).

Različiti faktora utiču na zakrivljenost F – V relacije, što su prethodna istraživanja i pokazala. Temperatura mišića je jedan od faktora koji je uticao na zakrivljenost F – V relacije. Povećanjem temperature mišića smanjuje se zakrivljenosti krive (Bottinelli, Canepari, Pellegrino & Reggiani, 1996). Pokazano je da je zakrivljenost krive veća kod sporih u odnosu na brza mišićna vlakna, što znači da tip mišićnog vlakna može da utiče na zakrivljenost krive (Bottinelli et al., 1996; Marechal & Beckers-Bleukx, 1993). Na povećanje zakrivljenosti krive može da utiče i povećanje zamora mišića (Ameredes, Brechue, Andrew & Stainsby, 1992).

U odnosu na istraživanja koja su se bavila izolovanim mišićima i koja su uključivale *in vitro* merenja sile i brzine, istraživanja na jednozglobnim i višezglobnim pokretima ispitivala su F – V relaciju i podrazumevala su *in vivo* merenje sile i brzine. Takva istraživanja obuhvatala su merenja sile i brzine u realnim uslovima na živim organizama. U istraživanjima koja su analizirala izolovani mišić merena je generisana sila u posmatranom mišiću, dok je u realnim uslovima praćena vrednost ostvarene sile. Kod jednozglobnih i višezglobnih pokreta češće je određivan moment mišićne sile kao posledica efekata F - V relacije, a ne sama mišićna sila. Što se tiče brzine koja je dobijena na

izolovanim mišićima, ona je merena direktno kao brzina njegovog skraćanja. S obzirom da kretanje čoveka funkcioniše na osnovu ostvarenih momenata sile kod jednozglobnih pokreta brzina je predstavljala ugaonu brzinu za dato opterećenje u odgovarajućem zglobu, dok je kod višezglobnih pokreta najčešće za praćenje efekata posmatranih parametara analizirana brzina pretpostavljenog težišta datog sistema ili brzina koju je ostvario kraj posmatranog kinetičkog lanca (Hardyk, 2000).

Istraživanjima koja su uradili Hawkins & Smeulders, 1999; Komi, 1973; Wilkie, 1949 potvrđena je hiperbolična F–V relacija kod jednozglobnih pokreta čoveka. F–V relacija testirana je prilikom jednozglobnih pokreta, dok je ostatak tela bio fiksiran. Testovi su najčešće rađeni na mišićima koji izvedu pokrete u zglobu lakta (Cavagna, Dusman & Margaria, 1968; Dern, Levene & Blair, 1947; Martin, Martin & Morion, 1995; Wilkie, 1949) i zglobu kolena (Johansson, Lorentzon, Sjöström, Fagerlund & Fugl-Meyer, 1987; Marshall, Mazur & Taylor, 1990; Seger & Thorstensson, 2000; Thorstensson, Grimby & Karlsson, 1976).

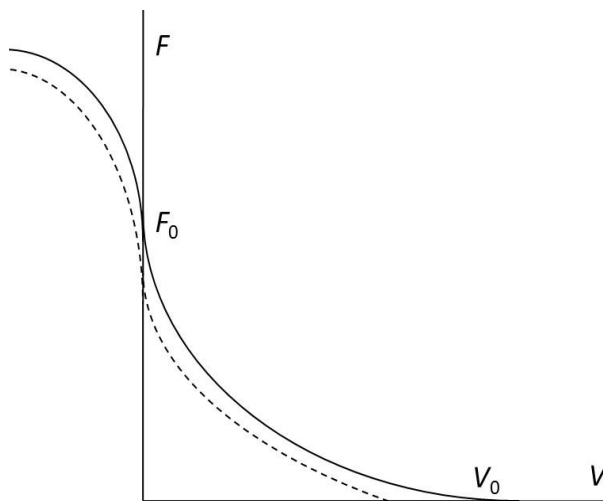


Slika 2. Relacije sila–brzina i sila–snaga za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića. Sila, brzina i snaga su normalizovane u odnosu na maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}), maksimalnu brzinu skraćanja mišića (V_{max}) i maksimalno ispoljavanje snage (P_{max}) mišića. (Cormie i sar., 2011)

U modelu prikazanom na slici (tzv. *Hilova kriva*), vidljivo je da kada dolazi povećanja brzine skraćanja mišića pri koncentričnoj kontrakciji ukupni kapacitet mišića za generisanje sile se umanjuje. Na osnovu toga može da se kaže da parametri maksimalne sile (F_{max}) i maksimalne brzine (V_{max}) skraćanja mišića kao i nagib krive relacije *sila–brzina* određuju i maksimalnu snagu (P_{max}) mišića. Pri proučavanju F–V relacije kod jednozglobnih pokreta, nekoliko faktora utiče na

zakrivljenost krive: trening, struktura mišića, tip mišićnog vlakna, a takođe uočavaju se razlike zakrivljenosti krive mišića agonista i antagonista.

Mišićna vlakna sa većim udelom brzih vlakana rezultiraju manjom zakrivljenošću krive (Froese & Houston, 1985; Gregor, Edgerton, Perrine, Campion & DeBus, 1979). Osim toga na F–V relaciju utiče i arhitektura mišića (perasti, vretenasti). Kratka mišićna vlakna kod kojih se tetiva se duboko uvlači u centralni deo mišića tako da se mišićna vlakna pružaju koso u polje (perasti mišići) ispoljavaju veću silu pri sporijim kontrakcijama u odnosu na duga mišićna vlakna koja imaju paralelni smer pružanja u odnosu na osu mišića (vretenaste mišiće). Međutim, pri većim brzinama skraćanja je suprotno, pa vretenasta muskulatura razvija veće sile od peraste muskulature. U jednozglobnim pokretima trening utiče na F–V relaciju (Nedeljković, 2016). Kod treninga jačine (velike sile, a male brzine) kriva se pomera ka višim vrednostima sile. Kod treninga brzine (velika brzina, a male sile) kriva se pomera ka višim vrednostima brzine, dok maksimalna sila ostaje nepromenjena. Kada se govori o agonistima i antagonistima, kriva se razlikuje u posmatranju dve antagonističke grupe mišića (pregibači i opružači). Oblik krive između pregibača i opružača je sličan, ali kriva pregibača je pomerena ka većim vrednostima sile i brzine (Baechle & Earle, 2008). Izgledi kriva za dve antagonističke grupe mišića, za opružače i pregibače u zglobu lakta prikazane su na Slici 3.

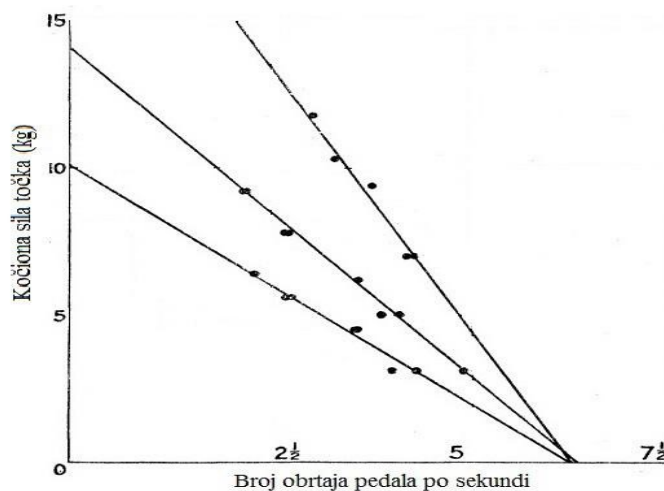


Slika 3. Teorijska kriva relacije sila–brzina za pregibače zgloba lakta je predstavljena punom linijom, a za opružače zgloba lakta isprekidanom linijom (Baechle & Earle, 2008).

Fokus novijih istraživanja je na opisu i utvrđivanju odnosa između sile i brzine, kako u jednozglobnim tako i u višezglobnim pokretima. U svakodnevnim aktivnostima čovek izvodi određene pokrete koji se vrše u više zglobova. Stoga je od velike važnosti posmatrati F–V relaciju i mehaničke osobine mišića koje je opisuju.

Analiza relacije sila-brzina vršena je na različitim grupama mišića, opružaca i pregibača ruku i nogu, pri čemu je posmatran odnos sile i brzine u različitim motoričkim testovima. Kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta uočena je hiperboličnost relacije, dok je pri testiranju višezglobnih pokreta uočena linearna relacije sila-brzina (Jaric, 2015).

Dickinson (1928) je na bicikl-ergometru pokazao linearni odnos između sile kočenja i brzine okretanja pedala. Prikaz linearne F–V relacije kod višezglobnih pokreta dat je na Slici 4.



Slika 4. Linearna F–V relacija između kočione sile točka i brzine okretanja pedala prikazana za tri ispitanika (Dickinson, 1928)

Dickinson ovim istraživanjem nije želeo da izvrši procenu mehaničkih osobina mišića, već da proveri Hilovu hipotezu iz 1922 : *“Prosečna spoljašnja sila, koja se ispoljava tokom pokreta maksimalnim angažovanjem, može se smatrati jednakom kao i konstantna teorijska sila koja je proporcionalno umanjena u odnosu na brzinu”*.

Zbog prvobitno dobijene hiperbolične relacije sila-brzina kod jednozglobnih pokreta očekivano je bilo da za sve pokrete bude dobijen isti oblik relacije. Zbog toga se tome dugo nije pridavao naročiti značaj, ali su istraživanja ukazala na postojanje različitog odnosa i krajem prošlog

i početkom ovog veka otvorila celu liniju istraživanja. Istraživanjima su obuhvaćeni različiti višezglobni pokreti koji su angažovali mišiće ruku i nogu: izbačaj tega sa grudi (Cronin et al., 2003; Sreckovic et al., 2015), bacanje lopte jednom rukom (Van Den Tillaar & Ettema, 2004), veslanje na ergometru (Sprague et al., 2007), okretanje pedala na ergometru za ruke (Nikolaidis, 2012; Vandewalle, Peres, Sourabie, Stouvenel & Monod, 1989; Vanderthommen et al., 1997).

Linearna F–V relacija je takođe utvrđena u različitim motoričkim testovima mišića nogu. Istraživači često koriste test skok uvis za proučavanje F–V relacije mišića nogu. Dobijena linearna F–V relacija demonstrirana je u testu skoka sa počučnjem (Sheppard et al., 2008; Vandewalle et al., 1987) i skoka iz polučučnja (Cuk et al., 2014; Jimenez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi & Jaric, 2016; García-Ramos, Feriche, Pérez-Castilla, Padial & Jaric, 2017; Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli & Morin, 2017; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan & Newton, 2008), zatim polučučnjevima (Banyard, Nosaka, Vernon & Haff, 2017; Rahmani, Viale, Dalleau & Lacour, 2001). U izometrijskim i dinamičkim uslovima kontrakcije u testu potisak nogama dobijena je linearna F–V relacija (Allison, BrookeWavell & Folland, 2013; Hahn, Herzog & Schwirtz, 2014; Meylan et al., 2015; Samozino et al., 2012; Samozino, Rejc, di Prampero, Belli & Morin, 2014; Yamauchi, Mishima, Fujiwara, Nakayama & Ishii, 2007). Takođe su kod testa na bicikl-ergometru (Buttelli, Vandewalle & Peres, 1996; Driss, Vandewalle, Chevalier & Monod, 2002; Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski & Skinner, 1999; Ravier, Grappe & Rouillon, 2004; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic & Jaric, 2017) dobili linearnu F–V relaciju. Dok su (Dobrijevic, Ilic, Djuric & Jaric, 2017; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard & Belli, 2010; Rabita et al., 2015) dobili linearnu F–V relaciju u testu trčanja.

Većina istraživača koji su proučavali F–V relaciju u višezglobnim pokretima fokusirala se na ispitivanje relacije zasebno za mišiće ruku i nogu. Međutim, nekoliko istraživanja je simultano posmatralo F–V relaciju mišića ruku i nogu. Iako je broj takvih istraživanja bio ograničen, rezultati su pokazali linearnu povezanost (Chelly, Hermassi & Shephard, 2010; Nikolaidis, 2012). U istraživanju koje je sproveo Nikolaidis (2012) je analizirani su parametri dobijeni iz linearne F–V relacije prilikom motoričkog testa na bicikl-ergometru, kako bi se uporedili mišići ruku i nogu. Parametri $F_{\max}$, $V_{\max}$ i $P_{\max}$ u mišićima nogu su pokazali veće vrednosti u odnosu na mišiće ruku. Do sličnih rezultata došli su Chelly i saradnici (2010).. Razlike u parametrima linearnih relacija mišića ruku i nogu mogu biti rezultat varijacija u njihovoj morfologiji, posebno u arhitekturi mišića i

površini fiziološkog preseka. Ove razlike mogu objasniti varijacije u rezultatima između ova dva mišićna sustava.

Većina istraživanja sugeriraju da je F–V relacija linearna kod višezglobnih pokreta. Međutim, postoje neka istraživanja koja su sugerisala da ta veza nije F–V relacija linearna. Nije dobijena linearna F–V relacija u motoričkom testu čučanj sa tegovima (Limonta i Sacchi, 2010). Kod manjih opterećenja, povećanje sile je pratilo smanjenje brzine, dok kod većih opterećenja takav trend nije bio uočen. Rezultati pri većim opterećenjima pokazali su da je došlo do povećanja sile i brzine, pri čemu je povećanje brzine bilo u uskom rasponu. Druga studija, koju su realizovali Ćuk i saradnici (2014), uporedila je linearni model F-V veze s polinomijalnim modelom tokom testa skok uvis, dok je za upoređivanje linearnog modela relacije sila-brzina i polinomijalnog modela za mišiće ruku primenjen test izbačaj tega sa grudi (Srećković i sar. 2015). I jedna i druga studija je pokazala da, dok polinomijalni model nešto bolje opisuje F–V relaciju, nema značajnih razlika između linearnog i polinomijalnog modela. Rezultati obe studije ukazuju da je F–V relacija približno linearna kod višezglobnih pokreta.

Pomoću relacije F–V moguće je određivanje parametara maksimalne sile, brzine i snage korišćenjem različitih intenziteta. Rezultujuća sila i brzina koja se javlja pri različitim opterećenjima u višezglobnim pokretima može se analizirati pomoću modela linearne regresije. Pomoću modela linearne regresije korišćenjem standardne jednačine moguće je izračunavanje:

$$F(V) = F_{max} - aV \quad (2.4)$$

F_{max} predstavlja parametar maksimalne sile, a nagib relacije.

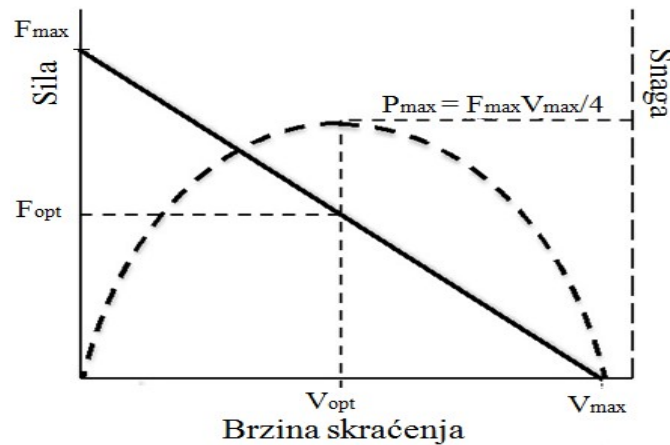
Na osnovu poznavanja ovih parametara moguće je izračunavati parametre maksimalne brzine:

$$V_{max} = F_{max}/a \quad (2.5)$$

Parametar maksimalne snage (P_{max}) se takođe može se odrediti pomoću parametara F_{max} i V_{max} i

$$P_{max} = F_{max} V_{max}/4 \quad (2.6)$$

Korišćenjem zadatog linearnog modela dobijena su četiri međusobno povezana parametara: $F_{\max}$, $V_{\max}$, i $P_{\max}$ koji opisuju oblik F - V i P - V relacije posmatranog mišića. Analizom nagiba regresione prave uočava se odnos između sile i brzine. Što je nagib već to su veće vrednosti $F_{\max}$, dok manji nagib ukazuje na veće vrednosti $V_{\max}$.



Slika 5. F - V relacija (puna linija) i P - V relacija (isprekidana linija) kod višezglobnih pokreta. F_{opt} predstavlja optimalnu silu, a V_{opt} optimalnu brzinu za razvoj maksimalne snage (Cormie et al., 2011)

Primena linearnog regresionog modela važna je i u sportu i u rehabilitaciji, za pravilno upravljanjem trenažnim opterećenjima kako bi se dobio maksimalni efekat primenjenog programa. Linearna F - V relacija omogućuje potpuniju sliku osnovnih mehaničkih svojstva mišića definisanjem parametara maksimalne sile, brzine i snage. Linearna F - V relacije se takođe može koristiti za određivanje P - V relacija koji je lakše primeniti i izračunati od relacije jednozglobnih pokreta. Iz parametara koji se dobiju iz F - V relacije tokom testiranja moraju se proceniti kako bi se pokazala njihovu pouzdanost, validnost i osetljivost.

Istraživanja su potvrdila visoku pouzdanost parametara izvedenih iz F - V relacije u testovima procene mišića nogu (skok uvis) i testu procene mišića ruku (izbačaj tega sa grudi) (Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). Međutim, kada su vrednosti tih parametara upoređene sa direktno procenjenim maksimalnim silama, brzinama i snagama, rezultati su bili nekonzistentni. Ustanovljena je visoka osetljivost svih parametara linearnog modela regresije, što je dovelo do zaključka da se na osnovu tih parametara mogu uočiti razlike između osoba različitog nivoa treniranosti (Cuk et al., 2016).

Potpuna slika o mehaničkim osobinama mišića može se steći preko F – V relacije i mogu se kompenzovati nedostaci standardnih procedura testiranja. Da bi F – V relacija i njeni parametri bili primenljivi na test, sam postupak mora biti jednostavan i ekonomičan za izvođenje. To znači da je neophodno standardni regresioni model sa više tačaka pojednostaviti modelom sa manjim brojem eksperimentalnih tačaka, time skratiti proceduru testiranja i povećati efikasnost testiranja usled smanjenog zamora, a istovremeno omogućiti procenu osnovnih mehaničkih osobina mišića.

1.2.2. Podela motoričkih veština

Analizirajući rukomet može se primetiti da je reč dinamičnoj sportskoj igri u kojoj su igrači u stalnom pokretu. Takođe, može se zaključiti da umnogome zavisi od određenih motornih veština (Vuleta, 2004). Neke od njih su zatvorene veštine, ali uglavnom za rukomet se kaže da je to igra karakteristična po otvorenim veštinama. *Motorne veštine su složeni obrasci kretanja koji zavise od nivoa motoričkih sposobnosti pojedinca, samim tim zahtevaju učenje u cilju postizanja nekog konkretnog zadatka uz minimalno trošenje vremena i energije i maksimalnu sigurnost prilikom izvođenja* (Schmidt i Wrisberg, 2000).

Prilikom proučavanja motornih veština, pokreti se najčešće klasifikuju prema određenoj šemi. Dve najvažnije klasifikacione šeme za podelu motoričkih veština su: diskretna, kontinuirana i serijska veština, koja se zasniva na načinjenim pokretima, kao i otvorene i zatvorene veštine. (Schmidt & Lee, 2005)

Podela motoričkih pokreta i aktivnosti veoma je važna. Pre svega zbog razumljivosti termina za opisivanje zadataka i pokreta. Zatim od vrste posmatranih pokreta zavise zakoni motoričkog ponašanja. Drugačije rečeno, pri poređenju dva ili više faktora međusobni odnos nezavisnih i zavisnih parametara se često razlikuju. Bez podele motoričkih pokreta i aktivnosti zakone motoričke kontrole bilo bi mnogo teže razumeti.

1.2.2.1. Diskretne, kontinuirane i serijske veštine

Diskretne veštine imaju precizno utvrđen početak i kraj pokreta. Takvi pokreti su: šutiranje lopte, udarci rukom ili nogom, kao i razna bacanja. Završetak pokreta nije nasumično određen, već je precizno definisan. Diskretne veštine su obično kratkog trajanja, izuzetno su brze i realizuju se u sekundi.

Kontinuirane veštine karakteriše nedostatak jasno definisanog početka i kraja. Ove veštine se izvode u dužem vremenskom periodu, gde se izvođač neprekidno kreće, pri čemu se ciklusi pokreta nadovezuju jedan na drugi. Primeri takvih pokreta uključuju hodanje, trčanje, plivanje, vožnju bicikla, kros kantri skijanje i slično.

Serijske veštine nisu ni diskretne ni trajne, već uključuju seriju diskretnih veština koje se moraju odvijati specifičnim redosledom, povezanih tako da čine celinu. Ukoliko se redosled može promeniti, zadak se ne može klasifikovati kao serijski (Schmidt & Lee, 2005). Izvođenje takvih pokreta može trajati nekoliko sekundi, a takođe mogu dugo trajati, iako imaju precizno utvrđen početak i kraj.

Otvorene i zatvorene veštine su određene su opažajnim osobinama zadataka. Pri planiranju izvođenja pokreta predvidljivost okruženja tokom izvođenja veština je takođe jedan od parametara po kojima se klasifikuju vrste pokreta.

Otvorene veštine se izvode u stalno promenljivom okruženju, stoga se ne može unapred planirati motorni odgovor. Onaj koji izvodi veštinu mora više pažnje da posveti okruženju, da neprekidno prati situaciju. Primer: veštine koje izvodi rukometaš u čijem posedu je lopta, njegovo kretanje zavisi istovremeno od rasporeda njegovih saigrača i protivničkih igrača (npr. ponašanje odbrambenog igrača). Dok trči sa loptom, igrač u kontranapadu mora pravovremeno da odluči u koju stranu će ići, a to pre svega zavisi da zavisi od ponašanja protivničkih igrača koji idu ka njemu i postavke golmana na голу. Uspešno izvođenje ovakvih pokreta definiše sposobnost osobe da prilagodi očekivano ponašanje promenljivim uslovima. Najčešće se prilagođavanja moraju izvršiti brzo i delotvorno.

Zatvorene veštine se izvode u stabilnom okruženju (predvidivom i konstantnom). Ponavljani pokreti koji su doveli do takozvanog automatizma, su zapravo zatvorene veštine. Na primer, cilj izvođača kako da izvede uspešno pokret i onda ponovi tu akciju (slobodno bacanje u košarci – nema ni vremenskog ni prostornog ograničenja, dok je okruženje stabilno). U gimnastici, streličarstvu, streljaštvu, kuglanju i drugim sportovima zastupljene su zatvorene veštine. Glavna osobina ovih ciklusa je ta da su spoljašnji uslovi konstantni i predvidivi, da se sledeći korak može isplanirati svakih nekoliko sekundi (Schmidt & Lee, 2005).

2. Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti komponenti opterećenja

Tokom kretanja čovek svojom svakodnevnom aktivnošću savlađuje silu spoljašnjeg opterećenja, a to je najpribližnije treningu sa izoinercijalnom vrstom opterećenja koju prikazuju gravitaciona i inerciona komponente. Gravitaciona komponenta opterećenja nastaje usled delovanja gravitacione sile i ima vertikalni pravac, dok inerciona komponenta ima pravac suprotan i usmerena je prema ubrzanju segmenata tela ili celokupnog tela. Gravitaciona komponenta predstavlja konstantnu silu, dok se inerciona komponenta menja tokom vremena u skladu sa ubrzanjem centra mase tela. Intenzitet gravitacione komponente najviše zavisi od smera pokreta, pri čemu je najveći kada se kretanje odvija vertikalno. S druge strane, intenzitet inercione komponente zavisi od ubrzanja i mase tela koja se ubrzava. Što su vrednosti ubrzanja i mase veće, veći je i intenzitet inercione komponente.

U istraživanju Leontijevića i saradnika (2013) primenjene su tri različite vrste opterećenja: gravitaciono, inerciono i kombinovano (pri izbačaju sa grudi). Brzina izvođenja pokreta najviše je opala pri kombinovanoj vrsti opterećenja, dok je pri gravitacionoj i kombinovanoj vrsti opterećenja zabeležen porast sile, a sa povećanjem opterećenja pri inercionoj vrsti opterećenja došlo do opadanja snage, a porast snage je bio pri gravitacionoj vrsti opterećenja.

U trenažnom procesu i rehabilitaciji sportista elastično opterećenje ima široku primenu. Kako bi se razumelo kakav uticaj elastično opterećenje ima kao oblik dodatnog spoljašnjeg opterećenja, posebno u vezi sa postizanjem maksimalne brzine pokreta, bilo je neophodno sprovesti eksperimentalna istraživanja koja upoređuju efekte elastičnog opterećenja sa drugim oblicima dodatnog opterećenja. Ova istraživanja su sprovedena tokom trenažnih procesa sa ispitanicima koji su imali različite nivoe treniranosti i bavili se različitim aktivnostima. Primećen je i pozitivan i negativan efekat elastičnog opterećenja nasuprot ostalim tipovima dodatog opterećenja.

U istraživanju u kome je praćen efekat pliometrijskog metoda u odnosu na efekat elastičnog opterećenja na skok uvis, zabeležen je veći napredak kontrolne grupe koja je radila saskoke sa visine nasuprot grupi koja je u svom treningu za skok uvis primenjivala elastično opterećenje (McClenton, Brown, Coburn & Kersey, 2008). Grupa koja je koristila elastično opterećenje ispoljila je pretežno koncentrični režim rada mišića, dok je druga grupa pokazivala i koncentrični i ekscentrični režim rada mišića.

Primećeni su pozitivni efekti elastičnog opterećenja u eksperimentalnom istraživanju kod dizača tegova. Istraživanjem je analiziran uticaj elastičnog opterećenja u odnosu na inercijalno opterećenje tokom trenažnog procesa, pri čemu je utvrđen napredak koji ide u korist elastičnog opterećenja. (Swinton, Lloyd, Agouris & Stewart, 2009). Napredak u korist elastičnog opterećenja u odnosu na inerciono opterećenje primećen je i kod 36 fudbalera za vremenski period od 7 nedelja gde je primenom elastičnog dodatog opterećenja rađena vežba potiska sa klupe (Ghigiarelli et al., 2009). U eksperimentalnom istraživanju u testu polučučanj sa jednim ponavljajućim maksimumom na Smit mašini uočen je pozitivan efekat elastičnog opterećenja na silu mišića nogu (Wallace, Winchester & McGuigan, 2006).

U sprovedenom istraživanju koje je obuhvatilo 52 ispitanika - 26 košarkaša i 26 rvača, koji su učestvovali u trenažnom programu od sedam nedelja sa upotrebom elastičnog opterećenja, primećeno je da su sportisti koji su koristili elastično opterećenje ostvarili bolje rezultate u poređenju sa sportistima koji su trenirali bez upotrebe rekvizita, odnosno dodatnog spoljašnjeg opterećenja. (Anderson, Sforzo & Sigg, 2008).

U eksperimentalnom istraživanju na tekvondo takmičarima Jakubiak i Saunders (2008) su pokušali da objasne uticaj primene elastičnog opterećenja na brzinu kružnog udarca nogom u poređenju sa vežbanjem kružnog udarca bez dodatnog opterećenja. Dvanaest visokokvalifikovanih sportista je podeljeno u dve grupe. Grupa koja je koristila elastično opterećenje sastojala se od 6 ispitanika, dok je drugu kontrolnu grupu činilo 6 ispitanika koji su trenirali bez dodatnog opterećenja. Tokom 4 nedelje treninga, opterećenje je kontinuirano povećavano tako što su gumene trake svake nedelje skraćivane za 30 cm. Rezultati istraživanja su pokazali napredak u eksperimentalnoj grupi u odnosu na kontrolnu grupu. Povećanje brzine udarca bilo je za 7% veće kod eksperimentalne grupe u poređenju sa kontrolnom grupom, čime su postignuti statistički značajno bolji rezultati

Istraživan je efekat elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta, posebno kod udarca zadnji direkt. Uzorak se sastojao od 30 učenika srednjoškolskog uzrasta (16-17 godina) i 40 sportista istog uzrasta koji se takmiče u udaračkim borilačkim sportovima poput kik boksa, savate boksa i boksa. Rezultati istraživanja su pokazali statistički značajan napredak u maksimalnoj brzini udarca zadnjim direktnom korišćenjem elastičnog opterećenja u poređenju sa inercionim

opterećenjem. Takođe, primećen je napredak u maksimalnoj brzini V_{max} u odnosu na trening bez dodatnog opterećenja kod učenika, kao i kod sportista koji su koristili elastično opterećenje u trenažnom procesu. Razlike su takođe primećene u izraženosti maksimalne sile F_{max} pregibača i opružača u zglobu lakta, kao i u maksimalnim kontrakcijama tokom finalnog merenja u poređenju sa inicijalnim merenjem. Sve ove razlike su bile u korist grupe koja je koristila elastično opterećenje tokom trenažnog procesa (Marković, 2015).

Rezultati dobijeni pri treningu elastičnim opterećenjem mogu se objasniti usklađivanjem skeletnih mišića sa tipom mišićnih vlakana koji će se najbolje prilagoditi na ovakav model treninga (Hostler et al., 2001). Brza mišićna vlakna se bolje prilagođavaju treningu sa elastičnim opterećenjem nasuprot treningu koji uključuje druge tipove dodatog spoljašnjeg opterećenja. Ovo delimično objašnjava zašto ovaj tip opterećenja potrebno u određenoj meri primeniti u trenažnom procesu kod sportista kod kojih su diskretni pokreti zastupljeni.

Izbačaj rukometne lopte je kompleksno, diskretno, brzo kretanje i ključni tehnički element za uspešno igranje rukometa (Cuevas-Aburto et al., 2020). Brzina izbačaja rukometne lopte (BIRL) je identifikovana kao ključna varijabla koja može razlikovati vešte i manje vešte rukometaše (Alves & Marques, 2013). Stoga nije iznenađujuće što su mnogi istraživači pokušavali pronaći optimalnu proceduru treninga za povećanje referentnih vrednosti brzine izbačaja rukometne lopte. Studije koje su prethodno istraživale efekte treninga sa slobodnim tegovima na brzinu izbačaja rukometne lopte generalno podržavaju njegovu primenljivost (Aloui et al., 2019; Chelly et al., 2010; Gorostiaga et al., 1999; Hermassi et al., 2010; Marques et al., 2007). U svojoj studiji Cuevas-Aburto sa saradnicima (2020) izveštava o suprotnim nalazima, navodeći da ni trening sa slobodnim tegovima, kao ni balistički potisak sa grudi nisu bili efikasni u povećanju brzine izbačaja rukometne lopte. Trebalo bi istražiti da li je trening sa slobodnim tegovima najefikasniji tip opterećenja za povećanje brzine izbačaja rukometne lopte, iako svakako mogu da predstavljaju koristan i često primenjivan tip opterećenja.

Drugi tip opterećenja, koji se često koristi za poboljšanje brzine izbačaja rukometne lopte i generalno kao deo treninga snage i kondicije, jeste trening opterećenja korišćenjem elastičnih guma (Bauer et al., 2021). Iako je manje studija istraživalo efikasnost treninga sa gumama na brzinu izbačaja rukometne lopte, njihov opšti zaključak je da su programi treninga sa gumama takođe izvodljivo rešenje za povećanje brzine izbačaja rukometne lopte (Aloui, Hammami, et al., 2019;

Bauer et al., 2021; Mascarin et al., 2017). Treba napomenuti da samo Andersen i saradnici (2018) nisu pronašli razlike u brzini izbačaja rukometne lopte između kontrolne (tj. grupe koja je izvodila redovne rukometne treninge) i eksperimentalne grupe sa elastičnim gumama (tj. grupe koja je izvodila redovan rukometni trening plus dodatni trening sa gumama). Mogući razlog zašto Andersen i saradnici (2018) nisu pronašli nikakvu razliku između kontrolne i eksperimentalne grupe mogao bi biti posledica veoma opšte prirode vežbi koje se primenjuju u eksperimentalnoj grupi (tj. 6 različitih vežbi za celo telo). Iako je većina studija pokazala povećanje brzine izbačaja rukometne lopte nakon treninga opterećenja sa gumama, još uvek nije jasno koje karakteristike treba da predstavi jedan program treninga opterećenja sa gumama kako bi se najefikasnije povećala brzina izbačaja rukometne lopte, a što je najvažnije, nije poznato ni da li je trening opterećenja sa gumama efektivniji od treninga sa slobodnim tegovima za povećanje brzine izbačaja rukometne lopte ili obrnuto.

Iako se brzina izbačaja rukometne lopte pokazala kao važna prediktorska varijabla uspešnosti u rukometu (Raeder et al., 2015), prethodne studije sugerisale su da postoji metoda koja omogućava sveobuhvatniju procenu kapaciteta brzine bacanja (Raeder et al., 2015). Konkretno, Amador Garcia-Ramos i saradnici (Amador Garcia-Ramos et al., 2018; Amador Garcia-Ramos et al., 2019; Amador Garcia-Ramos & Jaric, 2018) pokazali su da je relacija opterećenje–brzina (L-V) korišćenjem metode dve tačke ili metode više tačaka opterećenja i odgovarajućih brzina validan i pouzdan metod za istraživanje maksimalnog teoretskog kapaciteta brzine tokom višezglobnih pokreta. To znači da snimanje brzine prema dva ili više bacanja izvedenih različitim težinama omogućava ne samo istraživanje efikasnosti različitih protokola treninga sa rukometnom loptom (tj. procenu brzine povezane sa težinom rukometne lopte), već i istraživanje, tj. proveru maksimalne teorijske brzine (V_0 ; odsečak relacije L–V na x-osi). U dosadašnjim istraživanjima ne postoji studija koja je istraživala mogućnost procene BIRL i V_0 korišćenjem relacije L–V prema različitim tipovima opterećenja.

Može se reći da ima malo radova koji su se bavili primenom različitih tipova opterećenja u različitim motoričkim zadacima koji podrazumevaju angažovanje ruku i njihov uticaj na F–V relaciju. Iz prethodnog uočeno je da je F–V relacija koja se dobija pri složenim višezglobnim pokretima približno linearnog oblika i da je moguće na osnovu nje izvesti zaključke i o onim parametrima koji nisu direktno dobijeni.

Pregledom literature i istraživačkih radova koji se bave primenom različite vrste opterećenja otvara se pitanje primene vrste opterećenja u trenažnom procesu, odnosno koji je tip opterećenja u trenažnom procesu efikasniji.

3. Testovi za procenu brzine šuta

Rukomet je jedan od sportova u kojima je važna manifestacija sile i brzine, pa je vrlo važna brzina kojom se razvija mišićna sila. Pored ispoljavanja sile takođe je važno proceniti sposobnost mišića da razvije maksimalnu silu (F_{max}) pri odgovarajućoj brzini.

Za postizanje velikih brzina kretanja u treningu često se koristi inerciono opterećenje. Međutim, u treningu se mogu upotrebiti i drugi tipovi dodatog spoljašnjeg opterećenja. Elastično opterećenje moglo bi da bude jedno od njih. Izborom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu moguće je uticati na jačinu, snagu i brzinu razvoja sile, što na kraju može rezultirati većom maksimalnom brzinom izbačaja rukometne lopte..

Dosadašnjim istraživanjima vršena je procena karakteristika šuta u rukometu, pre svega preciznosti i brzine šuta, indirektnim i direktnim metodama. Iako tačnost i brzina šuta mogu podjednako uticati na efikasnost šuta, malo je radova vezanih za procenu brzine šuta.

Za procenu brzine šuta u rukometu koristi se direktna metoda zasnovana na proceni brzine leta lopte upotrebom reflektivnih markera i pomoću kinematičkog sistema za analizu kretanja (Van den Tillaar i sar., 2003), korišćenjem foto ćelija (Gorostiaga i sar., 2006; Granados i sar., 2008) kao i ručnog radara za merenje brzine leta lopte (Marques i sar., 2006).

Šut ili izbačaj lopte u rukometu jedan je od najvažnijih elemenata igre od kojeg zavisi krajnji ishod utakmice. Visokokvalitetan ili produktivan šut zahteva visok nivo preciznosti i brzine. Najviše su vršena istraživanja vezana za šut u timskim sportovima, pre svih, u fudbalu i rukometu. Problemi sa kojim su se susretali istraživači bili su vezani za validaciju varijabli i metoda procene brzine šuta. Nedostatak testova za procenu brzine šuta istraživačima je bio dovoljan podsticaj za kreiranje novih testova i protokola testiranja. Odabir testova mora omogućiti pravilnu procenu karakteristika šuta.

Ukazavši na važnost analize karakteristika šuta i nepostojanje objektivnih i pouzdanih testova za njihovu procenu, potrebno je vrednovati nove promenljive za neposredno vrednovanje navedenih osobina kako bi se stvorili uslovi za dalji razvoj.

4. Eksperiment

Na osnovu pregledane literature koja se odnosi na potencijalni problem efekata primene elastičnog i kombinovanog opterećenja u treningu, postavljeno je istraživanje koje je za osnovni zadatak imalo uticaj elastičnog i kombinovanog opterećenja i njihovih efekata na brzinu izbačaja rukometne lopte zamahom iznad glave i košarkaške lopte sa grudi u sedećem položaju.

4.1. *Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja*

Dosadašnja istraživanja nisu pružila dosledne rezultate i nedostaju pouzdani podaci o uticaju primene različitih vrsta opterećenja, poput elastičnog ili kombinovanog opterećenja, na mehaničke karakteristike mišića kao što su ispoljavanje sile, brzine i snage. Kako bi se prevazišli nedostaci prethodnih istraživanja, važno je detaljno opisati ispoljavanje F-V relacije i istražiti da li se mogu detektovati razlike u mehaničkim osobinama mišića (sila, brzina i snaga) koje se proizvode u različitim uslovima vežbanja.

Ovim istraživanjem rešavan je problem F–V relacije prilikom izbačaja rukometne lopte i izbačaja košarkaške lopte sa grudi, primenom različitih vrsta dodatnih spoljnih opterećenja, uočenih na uzorku studenata Univerziteta u Beogradu.

Na osnovu postavljenih problema, formulisani su predmet, ciljevi i zadaci istraživanja.

Predmet ovog istraživanja odnosi se na objašnjenje primene elastičnog i kombinovanog opterećenja tokom treninga, uticaj treninga pri ispoljavanju brzine i sile pri pomenutim opterećenjima i njihova primena u sportovima u kojima su zastupljeni pokreti slični pokretima prilikom izbačaja rukometne lopte i košarkaške lopte.

Uzimajući u obzir sve gore navedeno, glavni cilj je bio da se proceni efikasnost dva najčešće korišćena programa dodatnog opterećenja (slobodni tegovi i elastične gume) na varijable brzine (B_{IRL} i V_0) kao (B_{IKL} i V_0) koristeći relaciju opterećenje–brzina.

Na osnovu nalaza prethodnih istraživanja, bilo je moguće postaviti sledeće ciljeve:

1. Istražiti efekte treninga opterećenja slobodnim tegovima i elastičnim gumama na varijable snage (tj. maksimalna izometrijska sila [$F_{\max}$] i maksimalni potisak sa klupe sa 1 ponavljanjem [1RM uski dvoručni potisak sa grudi]) jer relacija L–V nije pouzdana procedura za istraživanje maksimalnih teoretskih karakteristika sile i snage tokom aktivnosti bacanja,

2. Istražiti validnost metode dve tačke u odnosu na metodu više tačaka i

3. Istražiti povezanost između varijabli brzine i snage nakon treninga slobodnim tegovima i elastičnim gumama.

Za realizaciju postavljenih ciljevi istraživanja potrebno je sprovesti sledeće *zadatke*:

- Formiranje grupa ispitanika na osnovu određenih kriterijuma, kao što je primena IPAQ upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti.
- Definisanje morfoloških karakteristika ispitanika, kako bi se uzeli u obzir faktori koji mogu uticati na rezultate istraživanja,
- Upoznati ispitanike sa motoričkim testovima koji će biti primenjeni, kako bi bili upoznati sa procedurom i zahtevima testiranja.,
- Izračunavanje parametara maksimalne sile i maksimalne brzine dobijenih iz F-V relacija, kako bi se procenila snaga i brzina mišića
- Kreiranje standardnog regresionog modela i modela sa dva opterećenja, kako bi se analizirali rezultati i objasnili efekti primene elastičnog opterećenja u poređenju sa inercionim opterećenjem i treningom bez dodatnog opterećenja,
- Analiza i tumačenje dobijenih rezultata, kako bi se utvrdio uticaj elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u odnosu na rezultate postignute sa inercionim opterećenjem i treningom bez opterećenja,
- Utvrditi razlike u maksimalnoj brzini izbačaja rukometne lopte kod ispitanika iz sve tri analizirane grupe (grupe koja će raditi sa elastičnim opterećenjem, grupe koja će raditi sa inercionim opterećenjem i kontrolne grupe – bez dodatog opterećenja),

- Utvrditi razlike u maksimalnoj brzini izbačaja košarkaške lopte kod ispitanika iz sve tri analizirane grupe (grupe koja će raditi sa elastičnim opterećenjem, grupe koja će raditi sa inercionim opterećenjem i kontrolne grupe – bez dodatog opterećenja),
- Merenje maksimalne sile (F_{max}) mišića u testu vučenja dominantnom rukom ležeći iznad glave na klupi,
- Merenje 1PM mišića opružaka u zglobu lakta u testu dvoručnog potiska sa grudima. Sprovesti analizu na osnovu statističkih podataka,
- Analizirati i predstaviti nalaze.

4.2. Hipoteze istraživanja

Sledeće hipoteze koje su kreirane za ovaj eksperiment bazirane su na istraživanjima u području elastičnog i kombinovanog opterećenja i značaja utvrđivanja efekata i karakteristika elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u različitim sportskim aktivnostima koje su reprezentativne za brzo-diskretne pokrete:

H1 – oba programa treninga povećavaju kapacitet brzine, dok će ovaj prirast biti više naglašen u grupi koja je vežbala sa slobodnim tegovima (ST grupa),

H2 – BIRL, BIKL i V se neće sistematski razlikovati prilikom slaganja vrednosti modela dva opterećenja i standardnog regresionog modela više tačaka opterećenja i

H3 – Snaga i sila (1PM i F_{max}) kod obe grupe ispitanika značajno će se povećati kao rezultat treninga.

5. Metode istraživanja

Pre nego što se pristupi analizi dobijenih rezultata, važno je sagledati nekoliko metodoloških aspekata koji mogu imati značajan uticaj. Razmatranje metodoloških pitanja je važno jer može pružiti uvid u značajnost rezultata ovog istraživanja, kao i identifikovati moguće nedostatke i ograničenja koja treba uzeti u obzir. Kao prvo, važno je napomenuti da su prethodne studije koje su poredile relacije sila–brzina dobijene iz motoričkih zadataka sa različitim mišićnim grupama koristile različite metodologije zasnovane na različitim vrstama opterećenja. Tu se pre svega misli na rad sa slobodnim tegovima, težinskim prslucima i pojasevima ili elastičnim gumama.

5.1. Uzorak ispitanika

Eksperimentalno istraživanje obuhvatalo je 29 studenata Univerziteta u Beogradu, podeljenih u tri grupe, dve eksperimentalne i jednu kontrolnu. Odsutnost hroničnih bolesti i povreda u poslednjih godinu dana koje bi mogle uticati na rezultate testa bili su uslov za učešće u istraživanju. Ispitanici su bili informisani o protokolu testiranja i potencijalnim komplikacijama tokom eksperimenta.

Eksperimentalni deo istraživanja bio je realizovan u Metodičkoj istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Istraživanje je bilo sprovedeno u dve odvojene sesije između kojih su ispitanici trenirali u grupama šest nedelja. Jedna grupa je radila sa inercionim opterećenjem, a druga sa elastičnim opterećenjem. Svi ispitanici su bili testirani po istom protokolu od strane istih merilaca.

Devetnaest studenata muškog pola nasumično je raspoređeno u grupu koja je radila sa elastičnim gumama ($n = 10$, starost = $20,7 \pm 1,1$ godina, telesna težina = $77,5 \pm 5,2$ kg, telesna visina = $1,82 \pm 0,39$ m) ili u grupu koja je radila sa slobodnim tegovima ($n = 9$, starost = $22,1 \pm 1,5$ godina, telesna težina = $84,5 \pm 12,7$ kg, telesna visina = $1,84 \pm 0,87$ m). Svaki je ispitanik bio dobrog zdravstvenog stanja, fizički aktivan i nije imao povrede ruke koje bi mogle da ugroze protokole treninga i testiranja.

Oni su završili protokol studije bez propuštanja ijedne sesije i dobili su instrukcije da ne izvode dodatne treninge snage za gornji deo tela tokom studije. Niko od njih nije imao prethodno iskustvo u radu sa elastičnim gumama. Ispitanici su informisani o svrhama i procedurama istraživanja i dali

su pismenu saglasnost pre početka studije. Protokol studije se pridržavao Helsinške deklaracije i odobren je od strane Univerzitetskog odbora za reviziju (broj odobrenja: 02-1550/20-1).

5.2. Uzorak varijabli

Na osnovu metodološke prirode, varijable su bile podeljene u dve grupe.

U prvu grupu uključene su visina tela (VT), masa tela (MT) i indeks mase tela (IMT) koje su nezavisne varijable morfološkog statusa.

Druga grupa varijabli odnosila se na motorički status: na brzinu pokreta (pri čemu su posmatrani segmenti tela rame, lakat i šaka), maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}) rotatora ramena i m. pectoralis majora dominantne ruke ležeći na klupi i 1PM mišića opružača u zglobu lakta u testu dvoručnog potiska sa grudima.

5.2.1. Procena morfološkog statusa

Na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine i telesne mase procenjen je morfološki status ispitanika. Ispitanici su nosili kratki šorts tokom antropometrijskih merenja (Slika 6).

– Visina tela:

Antropometrom po Martinu merena je visina tela, preciznost merenja 0,1 cm. Prilikom merenja ispitanici stoje uspravno na horizontalnoj podlozi pri čemu su pete sastavljene, dok je prednji deo stopala raširen (za širinu stopala). Antropometar dodiruju petama, sedalnom regijom i grudnim delom kičmenog stuba, glava je u produžetku kičmenog stuba, tako da ne dodiruje skalu antropometra (Norton & Marfell-Jones, 2000).

Na osnovu varijabli prikupljene su informacije o telesnom sastavu tela:

- Masa tela (MT),
- Procenat masnog tkiva (%Mas),
- Mišićno tkivo (%Miš) i
- Indeks mase tela (IMT),

Za merenje ovih varijabli korišćen je instrument za merenje bioelektrične impedance (*InBody 720m, USA*) – Analiza bioelektričnom impedancijom je metoda procene sastava tela propuštanjem sigurne, niske doze električne struje kroz ljudsko telo. Mišići pružaju telu nizak otpor struje, dok masno tkivo pruža veći otpor. Merenje je obavljeno u jutarnjim časovima, na prazan stomak, posle odlaska u toalet u prema uputstvima proizvođača.



Slika 6. Prikaz Antropometra po Martinu i uređaja za bioimpedancu (*InBody 720m, USA*) korišćenih za procenu morfološkog statusa

5.2.2. Procena motoričkog statusa

Sproveden je tipičan desetominutni postupak zagrevanja pre nego što je procenjen motorički status ispitanika. Svaki test su uvek obavljali isti ispitivači u skladu sa utvrđenim protokolima. Kako bi se smanjio uticaj zamora, testovi su bili sprovedeni prema promenljivom rasporedu.

Maksimalna brzina izbačaja rukometne lopte (MBIRL)

Ovaj test je korišćen za istraživanje kapaciteta maksimalne brzine izbačaja rukometne lopte. Test se sastojao od izvođenja rukometnog bacanja sa 6 Thera Band lopti, koje su bile teške 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 i 3 kg. Pravo testiranje je počelo specifičnim zagrevanjem koje se sastojalo od 5 submaksimalnih rukometnih bacanja rukometne lopte standardne težine (0,425-0,475 kg). Kasnije, randomizovanim redosledom, ispitanici su izveli tri maksimalna rukometna bacanja sa svakom loptom (ukupno 18 bacanja). Testovi su primenjeni randomizovanim redosledom da bi se izbegao efekat umora. Prvo bacanje svake lopte se smatralo probnim, dok su druga dva bacanja smatrana eksperimentalnim. Test bacanja rukom u sedećem položaju sa ispruženim nogama dok su leđa ispitanika bila naslonjena na tvrd, nepokretnu potporu (slike 7. i 8.) za eksperimentalnu postavku imala su za cilj da pred početak pokreta potpuno opuste miškulaturu. Lopte su se bacale uvek njihovom dominantnom rukom (ispitanici su sami rekli koja im je ruka dominantna). Učesnici su dobili instrukcije da drže telo mirno i da loptu bacaju što snažnije rukom nakon što su čuli instrukciju: „Baci!” bez narušavanja tehnike izvođenja pokreta. Pauza između dva uzastopna bacanja bila je 30 s. Brzina lopte je zabeležena pomoću tri kamere za kinematičku analizu kretanja (Qualisys Pro Reflex MCU120 Motion Capture System, Sweden). Jedan reflektujuć marker postavljen je na dominantnu ruku subjekta (*Processus styloideus ulnae*). Podaci o brzini snimljeni tokom najbržeg bacanja za svaku težinu lopte kasnije su korišćeni za L–V relaciju. U slučaju pogrešne tehnike bacanja ili ako su ispitanici tokom bacanja odvojili leđa od naslona za leđa, bacanje je ponovljeno. Doppler-radar gun (Sports Radar 3300, Sports Electronics) korišćen je za pružanje povratne informacije o brzini, pošto su prethodne studije pokazale da povećava motivaciju učesnika (Mário C. Marques et al., 2007; Van Den Tillaar & Marques, 2009).

Ispitanicima je bio pričvršćen marker na sagitalnu projekciju *processus styloideus ulnae*, kako bi se što tačnije izmerile brzine i ubrzanja tokom testiranja.

U pokretu izbačaja rukometne lopte učestvuju mišići agonisti, unutrašnji rotatori u zglobu ramena:

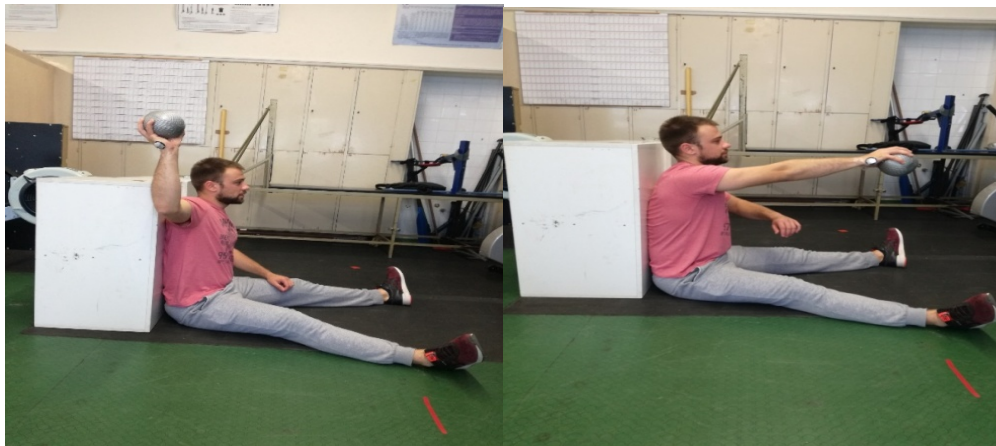
- *m. deltoideus (prednji snopovi)*,
- *m. pectoralis major*,
- sinergisti *m. pectoralis minor*.

Kao stabilizatori pokreta, aktivni su mišići leđa i trbušna muskulatura:

- *m. trapezius*,
- *m. latus dorsi*,
- *duboki mišići leđa*
- *m. rectus abdominis*,
- *m. obliquus externus abdominis* i
- *m. obliquus internus abdominis*.

Agonisti i sinergisti mišića podlaktice rade zajedno kao stabilizatori tokom čitavog pokreta, izometrijskim kontrakcijama:

- *m. flexor carpi radialis*
- *m. flexor pollicis longus*
- *m. palmaris longus*
- *m. flexor digitorum superficialis*
- *m. flexor digitorum profundus*
- *m. flexor carpi ulnaris*.



Slike 7. i 8. *Početni i završni položaj ispitanika u testu izbačaja rukometne lopte dominantnom rukom*

Po završetku testa *MBIRL*, pristupilo se merenju ispoljavanja maksimalne izometrijske sile (F_{max}) rotatora ramena i pectoralis majora dominantne ruke.

Test maksimalne izometrijske sile (F_{max}) vučenjem iznad glave dominantnom rukom

Ovaj test se koristi za procenu maksimalnog voljnog kapaciteta (F_{max}) mišića uključenih u rukometno bacanje. Ispitanici su ovaj test izvodili ležeći na leđima na ravnoj klupi dok su im stopala bila oslonjena na pod. Držali su metalni produžetak dinamometra sa rukom zgrčenom u zglobu lakta pod pravim uglom $\pm 10^\circ$ (tj. tipičan položaj bacanja rukom) (Newton *et al.*, 1997). Ruka je bila postavljena 5 cm ispod horizontalne ivice klupe. Ispitanicima je naloženo da zadrže ruku u početnoj poziciji i opušteno sve dok isti iskusni istraživač nije dao instrukciju da izvedu maksimalnu voljnu kontrakciju (tj. maksimalna sila mišića uključenih u aktivnost bacanja protiv nepokretnog otpora, zadržavanje istog početnog stava). Dato uputstvo je bilo da se opisana radnja izvede što jače i što je brže moguće u periodu od 3 do 5 sekundi (Wilson & Murphy, 1996). Ukupno, ispitanici su izveli jedan probni pokušaj i dva eksperimentalna pokušaja. Odmor između dva uzastopna pokušaja bio je 2 minuta (25), dok su pokušaji izvedeni pogrešnom tehnikom (tj. podizanje lakta i sl.) ponovljeni. Za dalju analizu odabrani su pokušaji sa većom ostvarenom mišićnom silom.

Izometrijska sila merena je primenom standardnih testova sile (Slike 9. i 10.). Uz verbalno ohrabrivanje kako bi ispoljili maksimalnu silu i što uspešnije izveli test, ispitanici su mogli vizualno pratiti ispoljenu silu na monitoru računara.



Slike 9. i 10. Prikaz testa ispoljavanja maksimalne izometrijske sile (F_{max}) vučenjem iznad glave dominantnom rukom

Tokom merenja programski paket *LabView* osigurao je povratne informacije o generisanim silama.

Maksimalna brzina izbačaja košarkaške lopte (MBIKL)

Za svakog ispitanika, eksperimentalni zadatak je bio postizanje maksimalne brzine izbačaja košarkaške lopte u zadatim uslovima merenja što je moguće brže. (Slika 11. i 12.). Sproveden je tipičan desetominutni postupak zagrevanja pre nego što je procenjen motorički status ispitanika. Svaki test su uvek obavljali isti ispitivači u skladu sa utvrđenim protokolima. Pravo testiranje je počelo specifičnim zagrevanjem koje se sastojalo od 5 submaksimalnih rukometnih bacanja košarkaške lopte standardne težine 0,56 kg. Kasnije, randomizovanim redosledom, ispitanici su izveli tri maksimalna košarkaška bacanja sa svakom loptom (ukupno 24 bacanja). Testovi su primenjeni randomizovanim redosledom da bi se izbegao efekat umora. Prilikom testiranja korišćene su lopte različitog opterećenja (0,28 kg; 0,56 kg; 1 kg; 2 kg; 3 kg; 4 kg; 5 kg i 6 kg). Svaki ispitanik imao je tri pokušaja sa svakom loptom. Prvo bacanje svake lopte se smatralo probnim, dok su druga

dva bacanja smatrana eksperimentalnim od kojih je rezultat najbolje izvedenog izbačaja bio korišćen u daljoj obradi podataka za ostvarivanje rezultata testiranja. Učesnici su dobili instrukcije da drže telo mirno i da loptu bacaju što snažnije rukom nakon što su čuli instrukciju: „Baci!” bez narušavanja tehnike izvođenja pokreta. Pauza između dva uzastopna bacanja bila je 30 s. Brzina lopte je zabeležena pomoću tri kamere za kinematičku analizu kretanja (Qualisys Pro Reflex MCU120 Motion Capture System, Sweden). Jedan reflektujući marker postavljen je na dominantnu ruku subjekta (*Processus styloideus ulnae*). Podaci o brzini snimljeni tokom najbržeg bacanja za svaku težinu lopte kasnije su korišćeni za L–V relaciju. U slučaju pogrešne tehnike bacanja ili ako su ispitanici tokom bacanja odvojili leđa od naslona za leđa, bacanje je ponovljeno. Doppler-radar gun (Sports Radar 3300, Sports Electronics) korišćen je za pružanje povratne informacije o brzini, pošto su prethodne studije pokazale da povećava motivaciju učesnika (Mário C. Marques et al., 2007; Van Den Tillaar & Marques, 2009).

U pokretu izbačaja košarkaške lopte učestvuju mišići agonisti:

- *m. pectoralis major*,
- *m. pectoralis minor*.

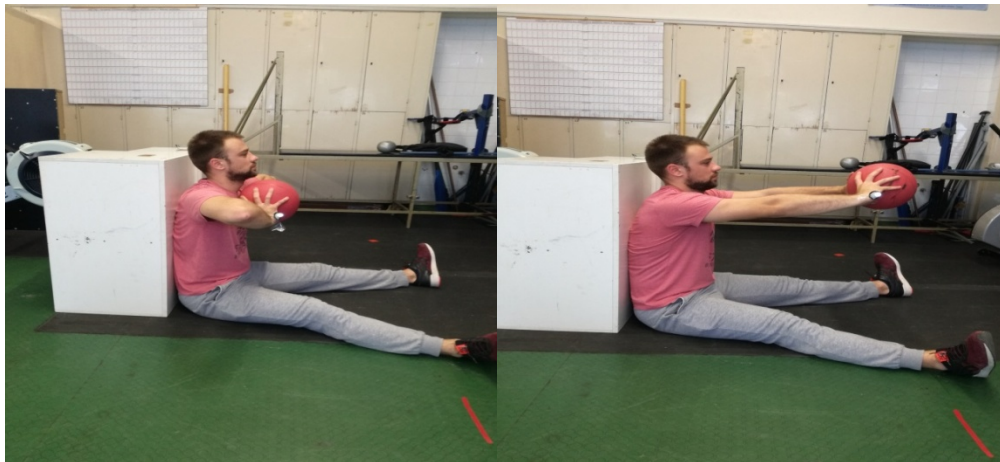
Sinergisti:

- *m. trapezius*,
- *m. latissimus dorsi*,
- *m. deltoideus* (prednji snopovi),
- *m. triceps brachii*,
- *m. serratus anterior*,
- *m. coracobrachialis*.

Pri stabilizaciji pokreta, aktivna su mišići trbuha:

- *m. rectus abdominis*,
- *m. obliquus externus abdominis* i

– *m. obliquus internus abdominis*.



Slika 11. i 12. Prikaz položaja ispitanika u testu izbačaj košarkaške lopte sa grudi

Test 1PM uski dvoručni potisak sa grudi (UDPG)

Testiranje 1PM bilo je realizovano u skladu sa utvrđenim protokolima (McBride i sar., 1999; Markovic i Jaric, 2007). Testiranje 1PM sprovedeno je pomoću Smit mašine sa graničnicima kojim se precizno odredila inicijalna visina na kojoj će se nalaziti klizajuća šipka. Graničnici su neophodni kako bi se obezbedio isključivo koncentrični režim rada mišića.

Ispitanici su zauzeli položaj ležeći na leđima na ravnoj klupi, ostvarivši kontakt sa njom celim leđima, dok su stopalima bili oslonjeni na pod. Vertikalna projekcija klizne šipke prolazi sredinom grudnog koša.

Ispitanici su savladali maksimalno opterećenje opružanjem ruku iz pozicije gde su šake postavljene na rastojanju palčeva na šipci (Slike 13. i 14.). Jedan maksimalni potisak (1PM) rađen je na Smith mašini prema standardizovanom protokolu. Sprovedene su 4 serije u svojstvu specifičnog zagrevanja sa: 30% (8 ponavljanja), 50% (5-6 ponavljanja), 75% (3 ponavljanja) i 90% (1 ponavljanje) od pretpostavljenog 1PM (za više detalja videti García–Ramos et al., 2018). Nakon specifičnog zagrevanja pristupilo se testiranju 1PM. Početno opterećenje je bilo 35 kg za sve učesnike, dok je ispitanicima sugerisano da odaberu rastojanje hvata za širinu rastojanja spojenih

palčevima. Opterećenje se povećavalo u opsegu od 10 kg sve dok srednja koncentrična brzina nije bila niža od $0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a zatim je opterećenje nastavilo da raste u opsegu od 5 do 1 kg dok se ne postigne opterećenje od 1PM. Za izvođenje 1PM svaki ispitanik je imao maksimalno 3 pokušaja. Između pokušaja pauza je trajala od 3 do 5 minuta.



Slike 13. i 14. Prikaz položaja tela ispitanika u testu 1PM uski dvoručni potisak sa grudi

Ispitanici su ponovili merenje nakon šest nedelja vežbanja pod eksperimentalno određenim uslovima.

U Metodičkoj istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu sprovedeni su i pretest i posttest. Pre testiranja morfološki status ispitanika procenjen je pomoću podataka dobijenih merenjem visine tela i njegove mase, nakon čega je usledilo opšte zagrevanje koje se sastojalo od pet minuta vožnje biciklom, tri serije od 10 sklekova i 10 minuta kalisteničkog i dinamičkog istezanja (Cuevas–Aburto et al., 2020; Markovic et al., 2016). Nakon zagrevanja učesnici su imali 5 minuta odmora pre nego što su započeli protokol testiranja koji je organizovan sledećim redosledom: uski potisak sa grudi 1RM, nakon 5 minuta pauze radili su test maksimalne izometrijske sile (F_{max}) vučenjem iznad glave dominantnom rukom. Drugog dana testiranja radili su test izbačaj rukometne lopte i izbačaj košarkaške lopte sa grudi.

5.3. Tok i postupci istraživanja

U sklopu eksperimentalnog istraživanja bila su obuhvaćena dva merenja. Pre početka trenažnog procesa obavljeno je inicijalno merenje, a osam nedelja kasnije nakon završenog planiranog vežbanja prvog merenja obavljeno je i drugo finalno merenje. U sklopu merenja preduzete su sledeće radnje:

- pomoću kamera za snimanje pokreta merena je brzine izbačaja lopte,
- merenje maksimalne izometrijske sile (F_{max}) rotatora ramena i pectoralis majora dominantne ruke i
- merenje 1PM.

Analiza dobijenih rezultata realizovana je primenom odgovarajućih statističkih procedura.

5.3.1. Procedura treninga

Trenažni proces su činila tri treninga nedeljno tokom šest nedelja. Nasumičnim odabirom ispitanici su bili raspoređeni u tri grupe po 10 ispitanika (dve eksperimentalne i jedna kontrolna).

Studija je imala za cilj (dizajn studije) da uporedi efekte dva različita programa treninga na kapacitet brzine mišića uključenih u rukometno bacanje. U tu svrhu ispitanici su nasumično raspoređeni u grupu za trening sa slobodnim tegovima ili grupu za trening sa elastičnim gumama. Oba programa treninga trajala su 6 nedelja i izvodila su se u istoj sali fakulteta. Svi ispitanici su dolazili ukupno 18 puta (tj. 3 sesije nedeljno). Osnovna razlika između programa treninga se sastojala u tipu otpora (slobodni tegovi naspram elastičnih guma), dok su obrasci pokreta vežbi bili slični za obe grupe (tj. grupa sa slobodnim tegovima je izvodila potisak sa klupe i povlačenje bučice ležeći na klupi imitirajući rukometno bacanje, dok je grupa sa elastičnim gumama izvodila iste vežbe koristeći elastične gume). Da bi se procenili efekti različitih programa treninga, pretest je organizovan nedelju dana pre treninga, dok je posttest urađen nedelju dana nakon poslednjeg treninga. Sva testiranja su bila ista za sve ispitanike i sastojala su se od testa maksimalne izometrijske sile (F_{max}) vučenjem iznad glave dominantnom rukom, beleženja brzine bacanja 6 medicinskih lopti težine od 0,5 do 3 kg, beleženja brzine bacanja 8 medicinskih lopti težine od 0,28 do 6 kg i uskog potiska sa grudi sa 1-ponavljajućim maksimumom.

Svi treninzi su rađeni u fiskulturnoj sali fakulteta. Svaki trening je počinjao istim zagrevanjem (10 minuta džogiranja po sopstvenom izboru, dinamičko istezanje i 3 serije po 10 sklekova). Program treninga se sastojao od 18 treninga (3 sesije nedeljno), a nadgledao ga je isti iskusni istraživač. Specifičnosti dva programa treninga otpora su opisane u nastavku.

Grupa za trening sa slobodnim tegovima (ST grupa)

Ispitanici iz ove grupe su izveli dve vežbe: dvoručni uski potisak sa klupe i povlačenje bučice sa dominantnom rukom imitirajući izbačaj rukometne lopte. Specifično zagrevanje se sastojalo od dva seta od 10 ponavljanja (individualno) 50% od njihovog prethodno utvrđenog 1PM (Sabido et al., 2016) i povlačenja bučice. Učesnici su nakon toga dobili uputstva da završe 6 setova po 10 ponavljanja svake vežbe. Početno opterećenje za UDPG je bilo približno 50% od 1PM i progresivno se povećavalo svake nedelje, dostižući približno 60% u drugoj, 64% u trećoj, 68% u četvrtoj, 73% u

petoj i 78% u šestoj nedelji. Početno opterećenje za dominantno povlačenje bučice bilo je 4 kg za svakog učesnika, i povećano je na približno 5 kg u drugom, 5,6 kg u trećoj, 6,4 kg u četvrtoj, 7,1 kg u petoj i 7,8 kg u šestoj nedelji. Uputstvo koje je dato ispitanicima bilo je da izvedu koncentričnu fazu pokreta što je brže moguće.

Grupa za trening sa elastičnom trakom (EG grupa)

Ispitanici su izvodili povlačenje imitirajući izbačaj rukometne lopte i vežbu za potisak koristeći elastične gume. Koeficijenti elastičnosti korišćenih guma u trenažnom procesu bili su u opsegu od 45 do 205 N/m za imitaciju izbačaja rukometne i košarkaške lopte, odnosno od 75 do 300 N/m za potisak sa grudi imitirajući izbačaj košarkaške lopte. Uvek su koristili elastične trake od 1,2 m koje su slobodnim krajem bile pričvršćene za zid. Vežbe su se izvodile sedeći sa elastičnim gumama istegnutim za 15 cm u početnom položaju. Konačna pozicija je odgovarala kraju pokreta (tj. za ukupno povlačenje konačna pozicija je bila ista kao i krajnji položaj ruke tokom rukometnog bacanja [~ 90 cm], dok je konačna pozicija tokom potiska sa grudi bila potpuno opružanje obe ruke što je odgovaralo krajnjem položaju ruku tokom košarkaškog bacanja [~ 60 cm]. Svaka od ovih vežbi je izvedena korišćenjem elastičnih guma koje su se razlikovale u elastičnoj sili otpora iz nedelje u nedelju. Početne elastične gume su imale sile otpora koje su odgovarale približno 40% maksimalne sile zabeležene tokom testa maksimalne izometrijske sile (F_{max}) vučenjem iznad glave dominantnom rukom i potiska na klupi. Otpor elastičnih guma se povećavao svake nedelje, što odgovara $\sim 50\%$ tokom druge, $\sim 54\%$ tokom treće, $\sim 58\%$ u četvrtoj, 62% u petoj i 66 % u šestoj nedelji. Izvodili su vežbe koristeći istu elastičnu gumu dok nisu mogli da završe 6 serija od 10 ponavljanja. Intervali odmora između serija su 45 do 60 sekundi. U tom trenutku došlo je do promene elastične gume, a od sledećeg treninga su izvodili vežbu sa elastičnom gumom veće sile otpora. Opterećenje na gumama je proveravano dinamometrom.

Pre svakog treninga rađen je standardan protokol zagrevanja u trajanju od 20 minuta.

Kontrolnu grupu činili su ispitanici koji nisu u trenažnom procesu i koji se tokom eksperimentalnog perioda nisu bavili fizičkim aktivnostima koje zahtevaju rad sa inercionim i elastičnim opterećenjem.

5.4. Statistička obrada podataka

Podaci istraživanja obrađeni su statističkim metodama za deskriptivnu i komparativnu analizu. Aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije, minimum i maksimum i raspon između minimuma i maksimuma korišćeni su u okviru deskriptivne statistike za sve varijable morfološkog i motoričkog prostora za obradu podataka.

Dodatno je rađena ANOVA (za nezavisne uzorke). Za procenu individualne varijabilnosti takođe su izračunati koeficijenti varijacije i standardna greška merenja. Statistička značajnost utvrđena je na nivou značajnosti $p \leq 0.05$.

5.4.1. Prikupljanje i analiza podataka

Maksimalna izometrijska sila vučenjem iznad glave dominantnom rukom merena je korišćenjem izokinetičkog dinamometra (Kin-Com Chatex Corp., Chattanooga, TN). Krive sila–vreme su snimljene na 500 Hz i niskopropusne filtrirane (10 Hz) primenom Butterworth filtera drugog reda (zaostajanje nulte faze) korišćenjem Sports Medical Solutions system Isometricus, SMS, All 4 Gym, Belgrade, Serbia. Sila je direktno zabeležena i pokušaj sa najvećom vrednošću sile je korišćen za statističke analize. Brzina rukometnog bacanja je zabeležena korišćenjem programskog paketa Qualisys Track Manager sa 3D kamerama za snimanje pokreta (Qualisys Pro Reflex MCU120 Motion Capture System, Sweden). Kasnije su dobijena brzina i stvarne težine bačenih lopti korišćene za relaciju L–V (Amador Garcia-Ramos et al., 2018).

5.4.2. Statistička analiza

Deskriptivni podaci su prikazani kroz srednju vrednost i standardnu devijaciju (SD). Between-within ANOVA sa grupom za obuku (ST naspram EG) kao i Between i vreme (pre treninga opterećenja i nakon treninga opterećenja) kao faktori unutar učesnika primenjeni su na brzinu izbačaja rukometne lopte, V_0 parametar, $F_{\max}$ i 1PM UDPG. U slučaju značajnih razlika, za poređenje razlika korišćen je post-hoc upareni t-test sa Bonferroni korekcijama, dok je veličina Cohen d effect size (ES) korišćena za procenu veličine tih razlika. Standardna greška procene (SEE) izražena u apsolutnim vrednostima kao i koeficijent varijacije (CV%) korišćeni su da bi se istražila validnost metode dve tačke u odnosu na metodu više tačaka, kao i validnost ovih dveju metoda za procenu brzine izbačaja rukometne lopte. Validnost je određena na osnovu sledeće skale: veoma visoka (CV < 5%), visoka (CV = 5%–10%), prihvatljiva (CV > 10%–15%) i niska (CV > 15%). Skala korišćena za tumačenje veličine ES bila je specifična za istraživanje obuke: zanemarljiva (< 0,20), mala (0,20–0,49), umerena (0,50–0,79) i velika ($\geq$ 0,80) (Cohen, 1988). Koeficijent r je korišćen za procenu nivoa povezanosti između varijabli brzine (BIRL i V_0) i jačine ($F_{\max}$ i 1PM UDPG), dok je skala korišćena za tumačenje veličine r koeficijenata bila sledeća: 0,00–0,09 trivijalno; 0,10–0,29 mala; 0,30–0,49 umereno; 0,50–0,69 velika; 0,70–0,89 veoma velika; 0,90–0,99 skoro savršeno; 1,00 savršeno. Sve statističke analize su obavljene korišćenjem SPSS software version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) i statistička značajnost je postavljena na alfa nivo od 0,05.

6. Rezultati

Dobijeni rezultati obrađeni su deskriptivnim statističkim procedurama na celokupnom uzorku i na subuzorcima koje su činile eksperimentalne i kontrolna grupa. Statističke razlike dobijene između grupa prikazane su u tabelama u kojima su prikazane analize varijanse (ANOVA).

6.1. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika kompletnog uzorka

U Tabeli 1. prikazani su deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika ispitanika. Ukupan broj ispitanika je 29.

Prosečna visina ispitanih igrača je 183.79 ± 6.20 cm, opsega od 175.40 cm do 197.30 cm. Prosečne vrednosti mase tela 85.42 ± 12.81 kg, opsega od 65.8 kg do 117.10 kg. Prosečne vrednosti mišićnog tkiva $41.36\% \pm 5.41\%$ koje se kreću u rasponu od 32.50% do 54.10%, dok se prosečne vrednosti masnog tkiva $13.32 \pm 8.29\%$ u rasponu od 2.3% do 36.6%. Prosečan indeks mase tela (IMT) je u vrednostima 24.28 ± 4.25 , raspona od 20.1 do 31.5.

Tabela 1. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika kompletnog uzorka (n = 29)

Test	AS	StDev	Min	Max	Cv%
Visina tela (cm)	183.79	6.20	175.40	197.30	3.38
Masa tela (kg)	85.42	12.81	65.8	117.10	15.00
Mišićno tkivo (%Miš)	41.36	5.41	32.50	54.10	13.09
Masno tkivo (%Mas)	13.32	8.29	2.30	36.60	62.23
IMT	21.83	1.76	25.00	31.50	8.08

6.2. Deskriptivni statistički pokazatelji morfoloških karakteristika ispitanika prema grupama

U Tabeli 2. prikazani su deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika testiranih igrača prema grupama. Ukupan broj ispitanika je 29, od toga su 9 ispitanika kontrolne grupe, 10 ispitanika grupe koja je radila sa slobodnim tegovima i 10 ispitanika grupe koje je radila sa elastičnim gumama.

Prosečna visina ispitanika kontrolne grupe je 183.97 ± 5.60 cm, opsega od 175.40 do 194 cm, prosečna visina ispitanika grupe koja je radila slobodnim tegovima 185.65 ± 8.18 cm, opsega od 175.60 do 197.30 cm i prosečna visina ispitanika grupe koja je radila elastičnim gumama 181.76 ± 4.16 cm, opsega od 176.50 do 188.80 cm. Prosečna masa ispitanika kontrolne grupe je 91.62 ± 9.12 kg, opsega od 72.90 do 107.30 kg, prosečna masa ispitanika grupe koja je radila slobodnim tegovima 84.70 ± 14.63 kg, opsega od 66.80 do 117.10 kg i prosečna masa ispitanika grupe koja je radila elastičnim gumama 79.93 ± 12.45 kg, opsega od 65.80 do 104.20 kg. Prosečna vrednost mišićnog tkiva ispitanika kontrolne grupe je 43.78 ± 4.26 % koje se kreću u rasponu od 35.50 do 52%, prosečna vrednost mišićnog tkiva ispitanika grupe koja je radila slobodnim tegovima 42.47 ± 6.37 % koje se kreću u rasponu od 33.70 do 54.10% i prosečna vrednost mišićnog tkiva koja je radila elastičnim gumama 37.82 ± 3.72 %, opsega od 32.50 do 43.30%. Prosečne vrednosti masnog tkiva kontrolne grupe 15.50 ± 8.64 % u rasponu od 7.70 do 35.30%, prosečna vrednost masnog tkiva grupe koja je radila slobodnim tegovima 10.62 ± 5.33 % kreću se u rasponu od 4.10 do 23.20% i prosečna vrednost masnog tkiva koja je radila elastičnim gumama 13.84 ± 10.23 %, opsega od 2.30 do 36.60%. Prosečan indeks mase tela (IMT) kontrolne grupe je 27.13 ± 3.36 , raspona od 22.00 do 34.90, prosečan IMT grupe koja je radila slobodnim tegovima je 24.44 ± 2.73 raspona od 20.90 do 30.10 i prosečan IMT grupe koja je radila elastičnim gumama 24.28 ± 4.25 raspona od 20.10 do 31.50.

Tabela 2. Deskriptivni pokazatelji morfoloških karakteristika prema grupama

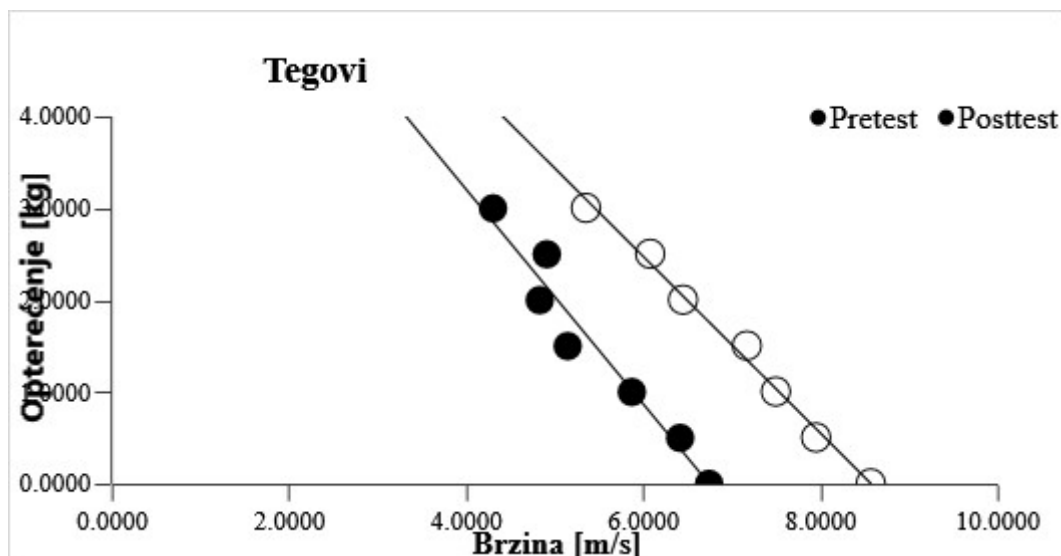
test	grupe	AS	StDev	Min	Max	Cv%
Visina tela (cm)	Kontrolna	183.97	5.60	175.40	194.00	3.04
	Slobodni tegovi	185.65	8.18	175.60	197.30	4.41
	Gume	181.76	4.16	176.5	188.80	2.29
Masa tela (kg)	Kontrolna	91.62	9.12	72.90	107.30	9.95
	Slobodni tegovi	84.70	14.63	66.80	117.10	17.27
	Gume	79.93	12.45	65.80	104.20	15.58
Mišićno tkivo (%Miš)	Kontrolna	43.78	4.26	35.50	52.00	9.73
	Slobodni tegovi	42.47	6.37	33.70	54.10	15.01
	Gume	37.82	3.72	32.50	43.30	9.83
Masno tkivo (%Mas)	Kontrolna	15.50	8.64	7.70	35.30	55.74
	Slobodni tegovi	10.62	5.33	4.10	23.20	50.19
	Gume	13.84	10.23	2.30	36.60	73.92
IMT	Kontrolna	27.13	3.36	22.00	34.90	12.40
	Slobodni tegovi	24.44	2.73	20.90	30.10	11.18
	Gume	24.28	4.25	20.10	31.50	17.49

6.3. Rezultati komparativne analize podataka

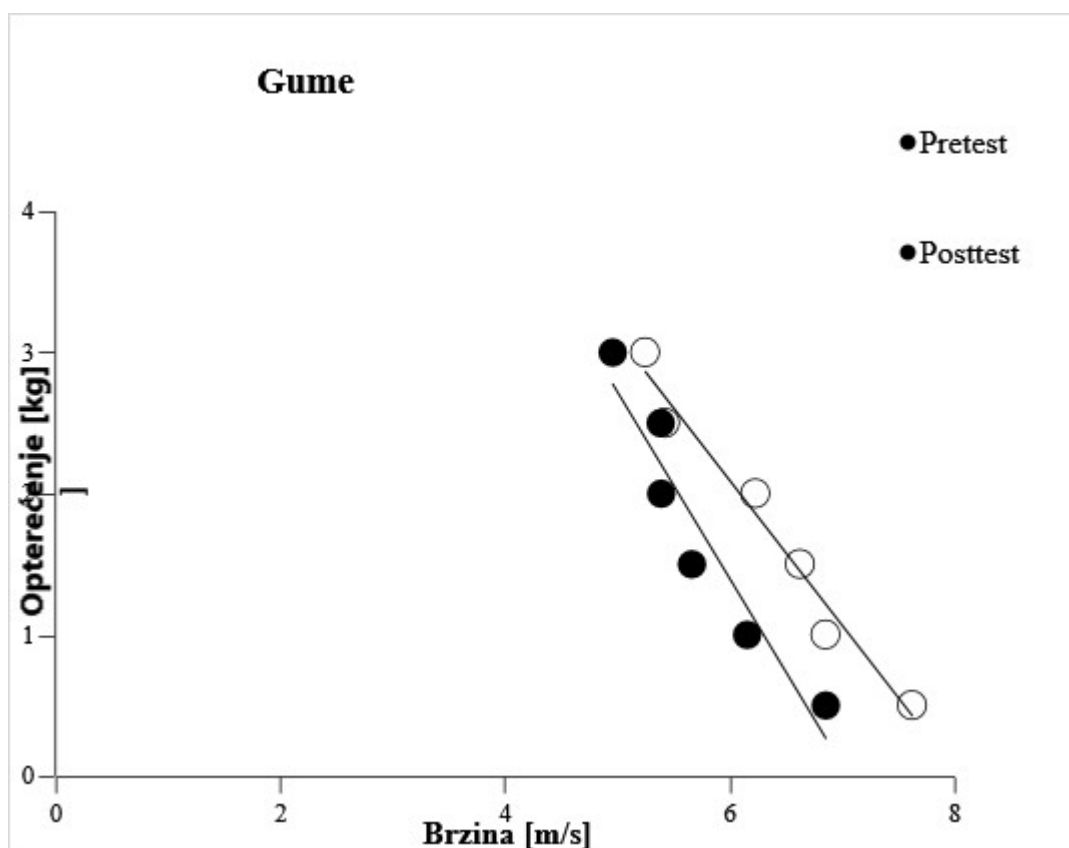
Od statističkih procedura za poređenje podataka primenjivana je jednostruka analiza varijanse (One way ANOVA). Poređeni su podaci dobijeni za brzinu i silu ostvarenu prilikom pokreta izbačaja rukometne i košarkaške lopte.

6.3.1. Parametri brzine izbačaja rukometne lopte (V_0 i V)

ANOVA koje je primenjena na V_0 ukazuje na glavnu značajnost vremena ($F = 7.167$, $p \leq .001$) i interakcije vreme $\times$ grupa ($F = 5.159$, $p = .036$), dok glavni efekat grupe nije pokazao statističku značajnost ($F = 0.010$, $p = .923$). Značajnost interakcije vreme $\times$ grupa ukazuje da je povećanje V_0 bilo veće za grupu koja je radila sa slobodnim tegovima (slika 16). Posmatrajući vrednosti veličine efekta (ES) ukupna veličina dobijenih razlika pre i posle primene treninga sa opterećenjem bila je veća kod grupe sa slobodnim tegovima ($ES = 1.34$) u odnosu na grupu sa elastičnim opterećenjem ($ES = 1.01$). Upareno poređenje pokazuje da je značajno povećanje u brzini dobijeno za sve eksperimentalne uslove i za obe grupe, osim za bacanje rukometne lopte većih težina kod grupe sa elastičnim opterećenjem (Tabela 3). Slični rezultati dobijeni su i za brzinu izbačaja rukometne lopte, gde su rezultati za glavni efekat vreme ($F = 27.574$, $p \leq .001$) i interakcija vreme $\times$ grupa ($F = 4.649$, $p = .046$) bili značajni. Sa druge strane, za rezultate glavnog efekta grupe nije dobijena statistička značajnost ($F = 0.007$, $p = .936$). Povećanje brzine izbačaja rukometne lopte bilo je veće kod grupe koja je radila sa slobodnim tegovima u odnosu na grupu sa elastičnim opterećenjem ($2.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nasuprot $0.96 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).



Slika 15. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj rukometne lopte kod ispitanika koji su radili trening sa slobodnim tegovima.



Slika 16. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj rukometne lopte kod ispitanika koji su radili trening sa elastičnim gumama.

Tabela 3. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja

Grupa	Brzina	Pre(ms ⁻¹)	Post(ms ⁻¹)	ES	P
<i>Slobodni tegovi</i>	V ₀	6.81	9.00	1.33	0.004
	V _{0.5}	6.25	8.06	1.25	0.005
	V ₁	5.76	7.55	1.30	0.003
	V _{1.5}	4.97	7.11	1.96	0.000
	V ₂	4.66	6.29	1.38	0.009
	V _{2.5}	4.66	6.00	1.15	0.023
	V ₃	4.26	5.21	1.00	0.029
<i>Elastične gume</i>	V ₀	7.52	8.40	1.00	0.007
	V _{0.5}	6.85	7.59	0.98	0.014
	V ₁	6.23	6.88	0.86	0.011
	V _{1.5}	5.71	6.64	1.80	0.000
	V ₂	5.45	6.18	0.84	0.005
	V _{2.5}	5.42	5.50	1.02	0.798
	V ₃	4.90	5.23	0.52	0.193

V₀, maksimalna teorijska brzina; V_{0.5}, postignuta brzina prema 0,5 kg; V₁, brzina postignuta prema 1 kg; V_{1.5}, postignuta brzina prema 1,5 kg; V₂, brzina postignuta prema 2; V_{2.5}, postignuta brzina prema 2,5 kg; V₃, postignuta brzina prema 3 kg; ES, effect size; Alpha je podešena na $p \leq 0,05$. Podebljani brojevi predstavljaju značajnu razliku.

Uočeno je da su obe grupe (grupa koja je u trenažnom procesu koristila elastične gume i grupa koja je koristila slobodne tegove) ostvarile određeni napredak u većini posmatranih varijabli, što pokazuju maksimalne brzine izbačaja svake rukometne lopte i rezultati dobijeni na finalnom merenju u odnosu na inicijalno merenje (Tabela 4.).

Grupa koja je koristila elastične gume u trenažnom procesu poboljšala je brzinu izbačaja lopte kod svih šest opterećenja. Ostvarili su manje brzine izbačaja lopte od 2,5 kg i na inicijalnom i na finalnom merenju dostižući vrednosti 5.42 ± 0.52 m/s, odnosno 5.50 ± 0.65 m/s, gde je postignut napredak od 1% i lopte od 3 kg i na inicijalnom i na finalnom merenju dostižući vrednosti 4.90 ± 0.50 m/s, odnosno 5.23 ± 0.68 m/s, pri čemu je postignut napredak od 7%. Sa druge strane, najveće brzine izbačaja lopte ostvarene su loptama težine 1.5 kg dostižući vrednosti 5.71 ± 0.61 m/s na inicijalnom, odnosno 6.64 ± 0.72 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 16% i lopte od 2 kg dostižući vrednosti 5.45 ± 0.58 m/s na inicijalnom, odnosno 6.18 ± 0.63 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 13%.

Grupa koja je u trenažnom procesu koristila slobodne tegove poboljšala je brzinu izbačaja lopte kod svih šest opterećenja. Ostvarili su manje brzine izbačaja lopte od 3 kg dostižući vrednosti 4.26 ± 0.62 m/s na inicijalnom, odnosno 5.21 ± 0.78 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 22%. Sa druge strane, najveće brzine izbačaja lopte ostvarene su loptama težine 1.5 kg dostižući vrednosti 4.97 ± 0.82 m/s na inicijalnom, odnosno 7.11 ± 1.12 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 43% i lopte od 2 kg dostižući vrednosti 4.66 ± 0.76 m/s na inicijalnom, odnosno 6.29 ± 1.04 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 35%.

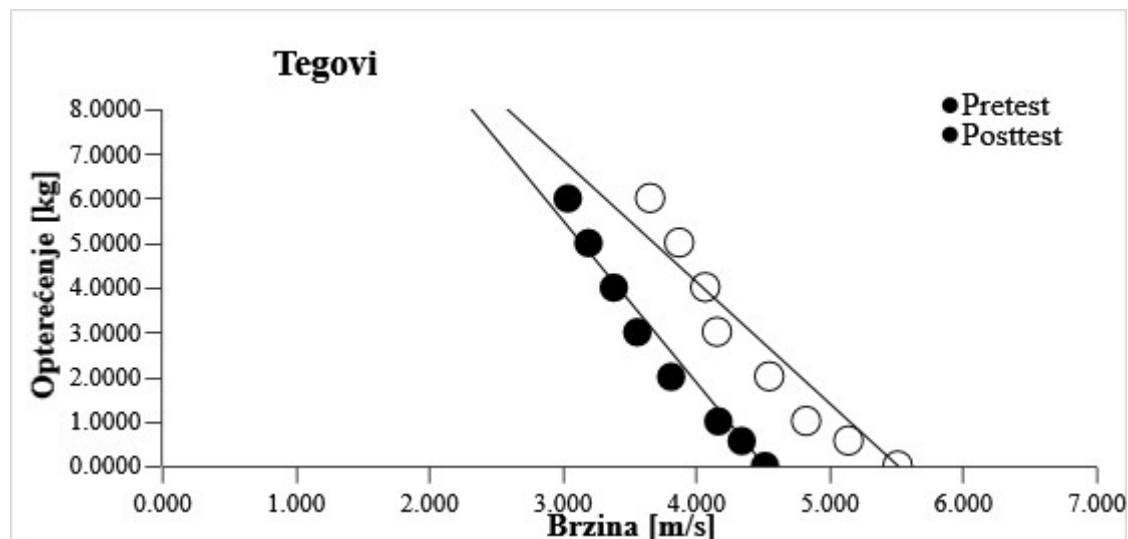
Tabela 4. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja

merene veličine	merenje	Elastične gume		Slobodni tegovi	
		AS $\pm$ SD	razlika (%)	AS $\pm$ SD	razlika (%)
V _{0.5}	inicijalno	6.85 $\pm$ 0.69	11*	6.25 $\pm$ 0.99	29*
	finalno	7.59 $\pm$ 0.75		8.06 $\pm$ 1.32	
V ₁	inicijalno	6.23 $\pm$ 0.65	10*	5.76 $\pm$ 0.88	31*
	finalno	6.88 $\pm$ 0.72		7.55 $\pm$ 1.24	
V _{1.5}	inicijalno	5.71 $\pm$ 0.61	16*	4.97 $\pm$ 0.82	43*
	finalno	6.64 $\pm$ 0.72		7.11 $\pm$ 1.13	
V ₂	inicijalno	5.45 $\pm$ 0.58	13*	4.66 $\pm$ 0.76	35*
	finalno	6.18 $\pm$ 0.63		6.29 $\pm$ 1.04	
V _{2.5}	inicijalno	5.42 $\pm$ 0.52	1	4.66 $\pm$ 0.69	29*
	finalno	5.50 $\pm$ 0.66		6.00 $\pm$ 0.89	
V ₃	inicijalno	4.90 $\pm$ 0.51	7	4.26 $\pm$ 0.62	22*
	finalno	5.23 $\pm$ 0.69		5.21 $\pm$ 0.78	

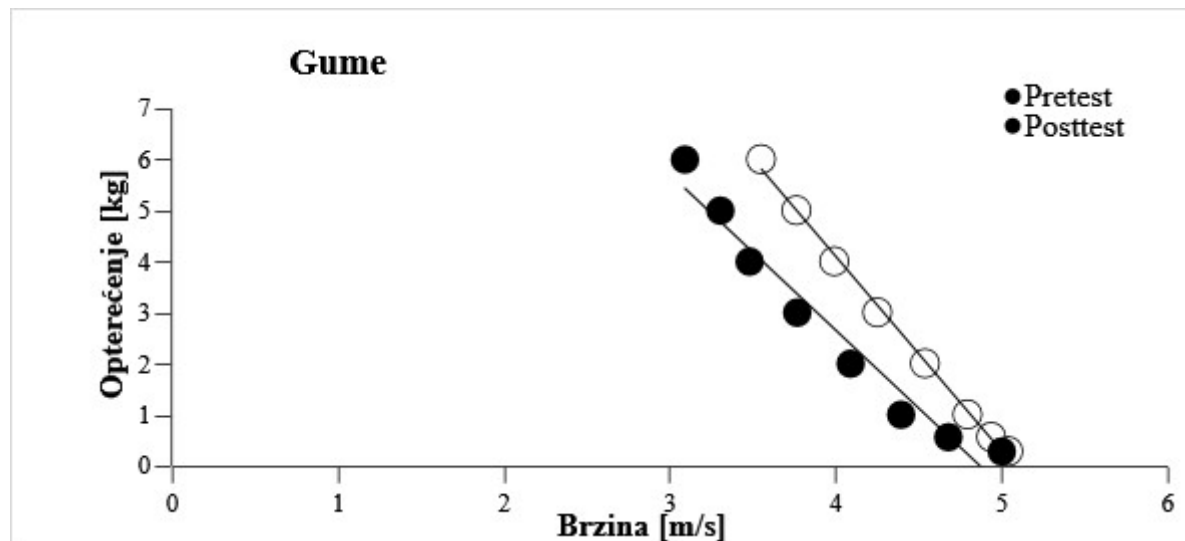
V_{0.5}, postignuta brzina prema 0,5 kg; V₁, brzina postignuta prema 1 kg; V_{1.5}, postignuta brzina prema 1,5 kg; V₂, brzina postignuta prema 2 kg; V_{2.5}, postignuta brzina prema 2,5 kg; V₃, postignuta brzina prema 3 kg; AS, aritmetička sredina; SD, standardna devijacija; % razlika u povećanju brzine. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.

6.3.2. Parametri brzine izbačaja košarkaške lopte (V_0 i V)

ANOVA koje je primenjena na V ukazuje na glavnu značajnost vremena ($F = 6.271$, $p \leq 0.019$) i vremena interakcije $\times$ grupa ($F = 0.537$, $p = 0.591$), dok glavni efekat grupe nije pokazao statističku značajnost ($F = 0.639$, $p = 0.535$). Značajnost interakcije vreme $\times$ grupa ukazuje da je povećanje V_0 bilo veće za grupu koja je radila sa slobodnim tegovima (slika 17). Posmatrajući vrednosti veličine efekta (ES), ukupna veličina dobijenih razlika pre i posle primene treninga sa opterećenjem bila je veća kod grupe sa slobodnim tegovima ($ES = 2.56$) u odnosu na grupu sa elastičnim opterećenjem ($ES = 0.96$). Upareno poređenje pokazuje da je značajno povećanje u brzini dobijeno za sve eksperimentalne uslove i za obe grupe, osim za bacanje rukometne lopte većih težina kod grupe sa elastičnim opterećenjem (Tabela 4). Slični rezultati dobijeni su i za brzinu izbačaja košarkaške lopte, gde su rezultati za glavni efekat vreme ($F = 15.592$, $p \leq 0.001$) i interakcija vreme $\times$ grupa ($F = 8.984$, $p = 0.001$) bili značajni. Sa druge strane, za rezultate glavnog efekta grupe nije dobijena statistička značajnost ($F = 0.970$, $p = 0.392$). Povećanje brzine izbačaja košarkaške lopte bilo je veće kod grupe koja je radila sa slobodnim tegovima u odnosu na grupu sa elastičnim opterećenjem ($0.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nasuprot $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).



Slika 17. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj košarkaške lopte kod ispitanika koji su radili trening sa slobodnim tegovima.



Slika 18. Linearna regresija primenjena na usrednjenim vrednostima ispitanika prikazana za motorički test izbačaj košarkaške lopte kod ispitanika koji su radili trening sa elastičnim gumama.

Kada su posmatrane maksimalne brzine za svaku košarkašku loptu i upoređeni rezultati finalnog i inicijalnog merenja, primećeno je da su obe grupe (grupa koja je u trenažnom procesu radila sa elastičnim gumama i grupa koja je radila sa slobodnim tegovima) ostvarile napredak u većini posmatranih varijabli (Tabela 5.).

Grupa koja je u trenažnom procesu radila sa elastičnim gumama ostvarila je zanemarljivo mali napredak u brzini izbačaja svih osam lopti. Ostvarili su najmanje razlike u brzini izbačaja lopte od 0.28 kg i na inicijalnom i na finalnom merenju dostižući vrednosti 4.90 ± 0.34 m/s, odnosno 5.00 ± 0.42 m/s, pri čemu je postignut napredak od 2% , a najveće razlike brzine izbačaja lopte su ostvarene loptama težine 2 kg dostižući vrednosti 3.82 ± 0.20 m/s na inicijalnom, odnosno 4.09 ± 0.33 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 7% i lopte od 3 kg dostižući vrednosti 3.50 ± 0.17 m/s na inicijalnom, odnosno 3.76 ± 0.22 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 7%.

Grupa koja je radila sa slobodnim tegovima (Tabela 5.) postigla je povećanje brzine izbačaja svih osam lopti. Ostvarili su povećanje brzine izbačaja lopte od 16% do 26%. Najveće brzine izbačaja lopte su ostvarene loptom težine 0.28 kg dostižući vrednosti 4.63 ± 0.38 m/s na inicijalnom, odnosno 5.82 ± 0.59 m/s na finalnom merenju, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 26%.

Tabela 5. Veličina promena u izlaznoj brzini košarkaške lopte nakon treninga opterećenja

merene veličine	merenje	Elastične gume		Slobodni tegovi	
		AS $\pm$ SD	razlika (%)	AS $\pm$ SD	razlika (%)
$V_{0.28}$	inicijalno	4.90 ± 0.34	2	4.63 ± 0.38	26*
	finalno	5.0 ± 0.42		5.82 ± 0.59	
$V_{0.56}$	inicijalno	4.50 ± 0.30	4	4.34 ± 0.31	19*
	finalno	4.67 ± 0.50		5.14 ± 0.63	
V_1	inicijalno	4.20 ± 0.25	5	4.16 ± 0.29	16*
	finalno	4.39 ± 0.50		4.82 ± 0.54	
V_2	inicijalno	3.82 ± 0.20	7	3.81 ± 0.27	19*
	finalno	4.09 ± 0.33		4.55 ± 0.44	
V_3	inicijalno	3.50 ± 0.17	7	3.56 ± 0.35	17*
	finalno	3.76 ± 0.22		4.16 ± 0.49	
V_4	inicijalno	3.27 ± 0.18	6	3.38 ± 0.32	20*
	finalno	3.48 ± 0.21		4.07 ± 0.49	
V_5	inicijalno	3.13 ± 0.20	6	3.19 ± 0.25	21*
	finalno	3.30 ± 0.35		3.87 ± 0.71	
V_6	inicijalno	2.90 ± 0.20	6	3.04 ± 0.30	20*
	finalno	3.09 ± 0.31		3.66 ± 0.85	

$V_{0.28}$, postignuta brzina prema 0,28 kg; $V_{0.56}$, postignuta brzina prema 0,56 kg; V_1 , brzina postignuta prema 1 kg; V_2 , brzina postignuta prema 2 kg; V_3 , postignuta brzina prema 3 kg; V_4 , brzina postignuta prema 4 kg; V_5 , postignuta brzina prema 5 kg; V_6 , postignuta brzina prema 6 kg; AS, aritmetička sredina; SD, standardna devijacija; % razlika u povećanju brzine. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.

Tabela 6. Veličina promena u izlaznoj brzini nakon treninga opterećenja

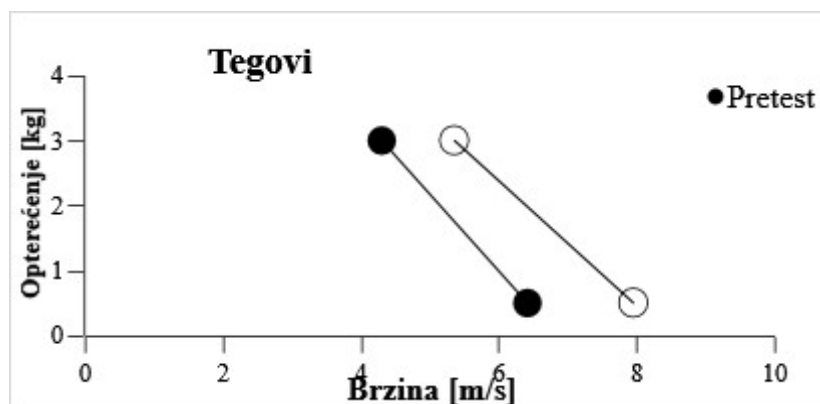
Grupa	Brzina	Pre (ms^{-1})	Post (ms^{-1})	ES	P
<i>Slobodni tegovi</i>	V ₀	4.51	5.51	3.63	0.001
	V _{0.28}	4.63	5.82	2.76	0.000
	V _{0.56}	4.34	5.14	1.21	0.004
	V ₁	4.16	4.82	1.31	0.003
	V ₂	3.81	4.55	1.94	0.000
	V ₃	3.56	4.16	1.27	0.003
	V ₄	3.38	4.07	1.87	0.000
	V ₅	3.19	3.87	1.10	0.007
	V ₆	3.04	3.66	0.73	0.045
<i>Elastične gume</i>	V ₀	4.87	5.07	0.51	0.048
	V _{0.28}	4.90	5.00	0.19	0.562
	V _{0.56}	4.50	4.68	0.30	0.358
	V ₁	4.20	4.39	0.42	0.212
	V ₂	3.82	4.09	0.59	0.093
	V ₃	3.50	3.76	0.96	0.014
	V ₄	3.27	3.48	0.73	0.045
	V ₅	3.13	3.30	0.71	0.052
	V ₆	2.90	3.09	0.69	0.095

V₀, maksimalna teorijska brzina; V_{0.28}, postignuta brzina prema 0,28 kg; V_{0.56}, postignuta brzina prema 0,56 kg; V₁, brzina postignuta prema 1 kg; V₂, brzina postignuta prema 2 kg; V₃, postignuta brzina prema 3 kg; V₄, postignuta brzina prema 4 kg; V₅, postignuta brzina prema 5 kg; V₆, postignuta brzina prema 6 kg; ES, effect size; Alpha je podešena na $p \leq 0,05$. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.

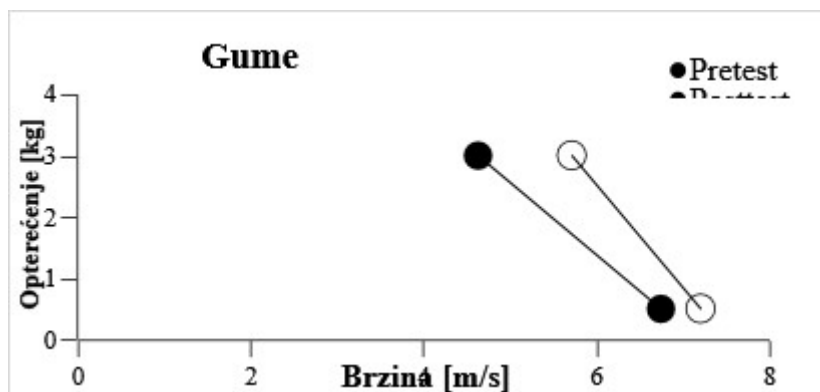
6.4. Validnost metode dve tačke

Male medicinke

Primenom metode dve tačke za rezultate parametara brzine V_0 i brzina izbačaja rukometne lopte u odnosu na standardnu metodu više tačaka dobijena je veoma visoka korelacija ($V_0 : r = 0.99$ i BIRL : $r = 0.93$). Svi koeficijenti varijacije ($CV \leq 6.2\%$) ukazuju na visoku validnost za oba parametra brzine, dok je SEE uvek niža od $0.45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



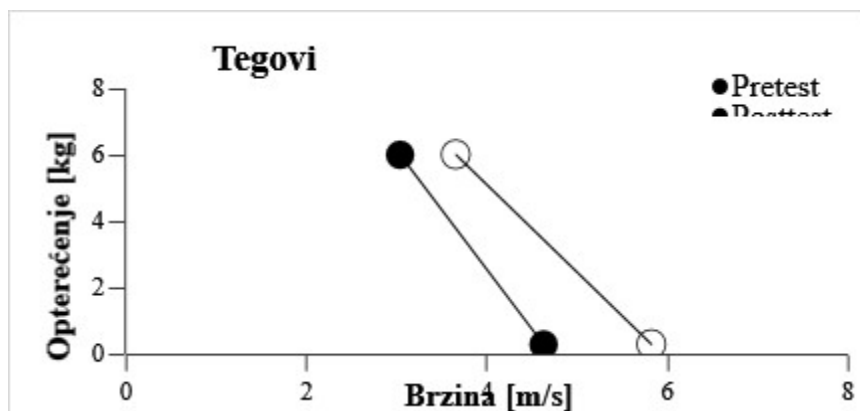
Slika 19. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj rukometne lopte za ispitanike koji su radili trening sa slobodnim tegovima.



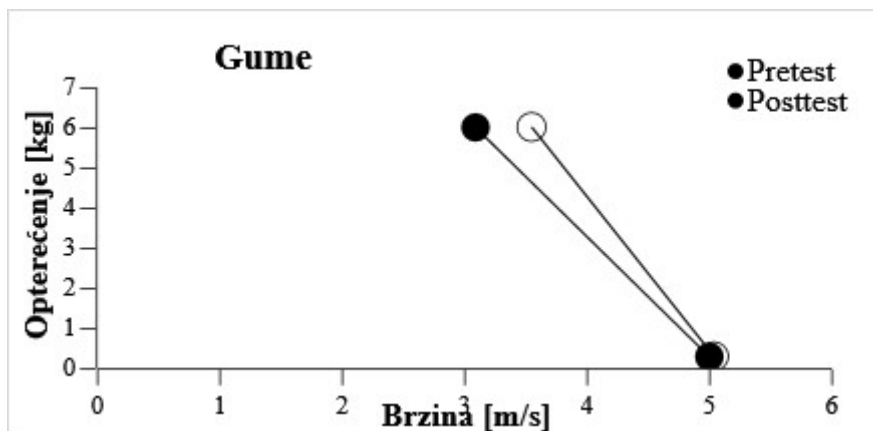
Slika 20. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj rukometne lopte za ispitanike koji su radili trening sa elastičnim gumama.

Velike medicine

Primenom metode dve tačke za rezultate parametara brzine V_0 i brzina izbačaja košarkaške lopte u odnosu na standardnu metodu više tačaka dobijena je veoma visoka korelacija ($V_0 : r = 0.99$ i BIKL : $r = 0.93$). Svi koeficijenti varijacije ($CV \leq 7.4\%$) ukazuju na visoku validnost za oba parametra brzine, dok je SEE uvek niža od $0.29 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Slika 21. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj košarkaške lopte za ispitanike koji su radili trening sa slobodnim tegovima.



Slika 22. Prikaz linearne regresije modela dva opterećenja (najmanje i najveće opterećenje) sa usrednjenim vrednostima ispitanika za motorički test izbačaj košarkaške lopte za ispitanike koji su radili trening sa elastičnim gumama.

Metoda dve tačke je izvodljivo rešenje za procenu brzine izbačaja lopte i V_0 . Da bi napravili model L–V relacije koristeći metodu dve tačke, sportistima bi trebalo zabeležiti brzinu izbačaja rukometne i košarkaške lopte u odnosu na dva bacanja (jedno bacanje lopte lakog opterećenja [i.e., lopta lakša od 0,5 kg kod izbačaja rukometne lopte i lopta lakša od 0,28 kg kod izbačaja košarkaške lopte] i drugo bacanje lopte najtežeg opterećenja koje ne ugrožava tehniku bacanja [i.e., zavisi od učenika; kod izbačaja rukometne lopte 3 kg i lopte od 6 kg kod izbačaja košarkaške lopte u našoj studiji]. Na taj način, metoda dve tačke će otkriti i brzinu izbačaja lopte i V_0 i samim tim pružiti sveobuhvatnije informacije o kapacitetu brzine učenika nego što bi to bilo učinjeno procenom samo brzine izbačaja lopte.

6.5. Parametri jačine ($F_{\max}$ i 1PM potiska sa grudi)

Rezultati uparenog poređenja ANOVA-e prikazani u Tabeli 7. primenjene na $F_{\max}$ ukazuju na značajan efekat vremena ($F = 17.866$, $p \leq .001$), dok efekat grupe ($F = 1.869$, $p = .189$) i interakcija vreme $\times$ grupa ($F = 0.203$, $p = .658$) nisu pokazali statističku značajnost. Druga ANOVA (Tabela 5) primenjena na 1PM BP ukazala je na statistički značajan efekat vremena ($F = 46.560$, $p \leq .001$) i grupe ($F = 5.509$, $p = .031$), dok za interakciju vreme $\times$ grupa nije dobijena statistička značajnost rezultata.

Tabela 7. Veličina promena u izlaznoj snazi nakon treninga opterećenja

Grupa	Varijable snage	Pre (ms^{-1})	Post (ms^{-1})	ES	P
Slobodni tegovi	$F_{\max}$	308 ± 182	360 ± 195	0.27	0.007
	1PM UDPG	84 ± 16	93 ± 14	0.58	≤ 0.001
Elastične gume	$F_{\max}$	215 ± 91	279 ± 61	0.84	0.019
	1PM UDPG	67 ± 19	19 ± 17	0.44	0.003

$F_{\max}$, maksimalna izometrijska brzina; 1PM UDPG, 1 - ponavljanje maksimalnog potiska na klupi; ES, effect size. Alpha je podešena na $p \leq 0,05$. Brojevi podebljani predstavljaju značajnu razliku.

7. Diskusija

U ranijim istraživanjima u kojima su se poredile relacije sila–brzina dobijene iz različitih motoričkih zadataka koristile su se metodologije zasnovane na različitim vrstama opterećenja (rad sa slobodnim tegovima ili elastičnim gumama). Istraživanja u kojima su korišćene elastične gume kao vid dodatog spoljašnjeg opterećenja potvrdila su određene nedostatke u metodologije kada je reč o varijabilnosti opterećenja, nedovoljne dužine guma ili njihove nedovoljne elastičnosti (Anderson et al., 2008; Jakubiak & Saunders, 2008; Wallace et al., 2006). U ovom istraživanju problem je rešen menjanjem krutosti gume i nivoa njihove istegnutosti (povećava se relativna dužina), pa je samim tim bilo moguće preciznije i lakše menjanje opterećenja tokom eksperimenta. U istraživanju koje su radili Marković i saradnici 2015. korišćene su elastične gume i inerciona opterećenja. Ispitanici su se pomerili svake nedelje za određenu distancu na osnovu čega se povećavalo opterećenje. Kao rezultat toga nalazi su pokazali da je primena elastičnog opterećenja doprinela većoj efikasnosti prilikom uticaja na povećanje maksimalne brzine pokreta nakon trenažnog procesa. Iako u istraživanjima ne postoje konzistentni nalazi da je jedna vrsta opterećenja bolja, posebno u situaciji kada je potrebno razviti veću brzinu ili veću silu u samom startu za primenu prilikom pokušaja da se poveća brzina pokreta, korišćene su obe vrste opterećenja.

Osnovni cilj istraživanja bio je da se ispita efikasnost različite vrste opterećenja (ST i EG) na brzinu izbačaja rukometne i košarkaške lopte, kao i mogućnost brze procene kapaciteta BIRL i V_0 , kao i BIKL i V_0 metodom dve tačke. Realizacijom pojedinačnih ciljeva ispitana je linearnost dobijenih relacija. U skladu sa dobijenim rezultatima utvrđene su vrednosti i razlike parametara dobijenih relacija, a na kraju izvršena je analiza dobijenih nalaza. Parametri maksimalne sile direktno su ispitani na osnovu dobijenih vrednosti maksimalne sile procenjene primenom testa uski dvoručni potisak sa grudi i testa vučenja dominantnom rukom ležeći iznad glave na klupi za oba motorička zadatka, izbačaj rukometne lopte i izbačaj košarkaške lopte sa grudi. Istraživanjem je zaključeno da je, bez obzira na vrstu primenjenog opterećenja, relacija sila–brzina pri složenim (višezglobnim) pokretima linearnog oblika. Linearnost relacije sila–brzina kod oba motorička zadatka je visoka kao i u prethodnim studijama koje su ispitivale linearnost pri složenim pokretima (Cuk et al., 2014; García-Ramos et al., 2016), a u odnosu na neka druga istraživanja viša (Allison et al., 2013; Feeney et al., 2016; Rabita et al., 2015).

Glavni nalazi su pokazali da su obe trenažne metode poboljšale ispoljavanje maksimalne brzine, međutim, veličina ovog poboljšanja bila je veća za grupu koja je radila sa slobodnim tegovima, što u potpunosti potvrđuje hipotezu H1. Analizom dobijenih rezultata primećeno je da nema razlike u veličini BIRL i V_0 i veličini BIKL i V_0 , dobijenih primenom metode dve tačke i više tačaka, odnosno uočeno je da su obe trenažne metode značajno povećale kapacitet snage učesnika. Na osnovu ovih nalaza može se zaključiti da je došlo do ispoljavanja jačine preko 1PM. S obzirom na to da se očekuje povećanje parametara jačine i brzine u odnosu na ponavljajući maksimum, može se zaključiti da će se povećati i parametri jačine i brzine pri F-V relaciji prilikom izbačaja rukometne ili košarkaške lopte. Obe metode treninga značajno su povećale snagu iako je veličina promena bila mala za F_{max} i 1PM UDPG u ST i EG grupama, umerena za 1PM UDPG u ST grupi i velika za F_{max} u EG grupi. Korelacije između varijabli snage i brzine bile su generalno nedosledne i uobičajene do umerene. Sumirajući, ST je efikasniji metod treninga za povećanje kapaciteta brzine mišića uključenih u bacanje rukometne i košarkaške lopte, dok se relacija L-V može koristiti za procenu BIRL i V_0 i BIKL i V_0 , a to bi po mogućstvu trebalo uraditi metodom dve tačke.

U saglasnosti sa prethodnim istraživanjima sličnog trajanja u periodu 6–9 nedelja (Aloui et al., 2019; Bauer et al., 2021; Gorostiaga et al., 1999; Hermassi et al., 2010, 2011; Mascarin, De Lira, et al., 2017), trenažni proces u trajanju od šest nedelja doprineo je značajnom poboljšanju brzine ispitanika u ovom istraživanju. Da bi se dobili pouzdani rezultati za svaki trenažni proces, neophodno je da bude kontrolisan sve vreme kako bi se izbegli potencijalni problemi. Međutim, mnoga istraživanja su realizovala programe za povećanje opterećenja tokom trenažnog procesa kao dodatak glavnom rukometnom i košarkaškom treningu i zato su pojedini autori tvrdili da se to može pripisati generalno većem obimu treninga u grupama koje su bile uključene u dodatni program treninga opterećenja (Maskarin, De Lira, et al., 2017). Zanimljivo je da su uočena veća poboljšanja u BIRL i V_0 i BIKL i V_0 kod treninga sa slobodnim tegovima u odnosu na treningom sa elastičnim gumama. Kao glavno moguće objašnjenje za ovaj rezultat može da bude mehanika pokreta. Konkretno, kada su učesnici izvodili vežbe koristeći EG, stvarno opterećenje se tokom pokreta povećava od najmanjeg do najvećeg kako se elastična traka izdužuje, što je mehanizam koji je u suprotnosti sa realizacijom prilikom stvarnog bacanja prilikom kojeg mišići treba da razviju više snage na početku u odnosu na kraj pokreta.

Prilikom upoređivanja dva modela - standardnog regresionog modela koji koristi više opterećenja za određivanje veze između sile i brzine, i modela dva opterećenja koji se oslanja na parametre dobijene iz dva udaljena opterećenja (obično najmanjeg i najvećeg opterećenja), primećeno je visoko povezivanje njihovih parametara. Analiza apsolutnih vrednosti, korelacija i procentualnog prosečnog odstupanja pokazala je da parametri ovih modela imaju jaku međusobnu vezu.

Poređenjem rezultata dobijenih primenom dve metode dobijeno je da je metoda dve tačke pokazala visoku validnost u odnosu na metodu više tačaka, čime je potvrđena druga hipoteza H_2 . Ranije studije su pokazale da metoda dve tačke važi za istraživanje svih teorijskih maksimalnih mehaničkih sposobnosti tokom različitih višezglobnih pokreta (Amador Garcia-Ramos et al., 2019; Janicijevic, García-Ramos, et al., 2019; Janicijevic, Knezevic, et al., 2019). Linearna $F - V$ relacija ostvarena kod višezglobnih pokreta izvor su visokog nivoa povezanosti između parametara dobijenih iz dva različita modela (Jaric, 2015, 2016). Skokovi, trčanje, bacanja samo su neki od primera različitih motoričkih pokreta koji se koriste za testiranje i procenu mehaničkih osobina mišića, različitih ishoda treninga i rehabilitacije. Testiranja se izvode pri identičnom spoljašnjem opterećenju u istovetnim mehaničkim uslovima. Međutim, prema dosadašnjim istraživanjima ovo je prva studija koja je potvrdila validnost metode dve tačke za istraživanje brzine izbačaja rukometne lopte BIRL, brzine izbačaja košarkaške lopte sa grudi BIKL i maksimalne teorijske brzine V_0 tokom bacačkih aktivnosti, što je veoma važno za potencijalno nova testiranja. Eventualno loša strana metode dve tačke za procenu brzine bacanja može da leži u tome što nije pogodna za procenu maksimalne sile i snage zbog činjenice da je maksimalno opterećenje koje može da se sprovede tokom izbačaja rukometne lopte relativno malo i daleko od presecanja sa y-osom, što može da utiče na nedovoljno precizne vrednosti i na nedovoljnu pouzdanost maksimalne teorijske sile i procenu snage i, samim tim, ne bi trebalo da se koristi.

Oba modela treninga (trening slobodnim tegovima i trening elastičnim gumama) povećali su veličinu promenljive snage, iako su ispitanici koji pripadaju grupi koja je vežbala slobodnim tegovima (ST) imali bolje rezultate u 1PM pri izvođenju uskog dvoručnog potiska sa grudi u odnosu na ispitanike grupe koja je vežbala sa elastičnim gumama (EG), dok su ispitanici koji pripadaju EG grupi prikazali bolje rezultate $F_{\max-a}$ od ST grupe. Ovi nalazi potvrđuju hipotezu H_3 u vezi sa selektivnim efektom treninga snage (Djuric et al., 2016), što znači da su učesnici koji su radili sa inercionim opterećenjem povećavali svoje sposobnosti kako bi mogli da podignu veće opterećenje,

dok su učesnici koji su izvodili izometrijske kontrakcije na kraju svakog ponavljanja (završni pokret kod EG grupe) povećali $F_{\max}$. Štaviše, slično prethodnim studijama, povećanje varijable brzine u ovoj studiji nije praćeno istim povećanjem varijable snage i obrnuto. Svi ovi nalazi govore u prilog potrebi za istraživanjem sposobnosti snage mišića uključenih u akciju bacanja odvojeno od procene brzine. Moguće ograničenje ove studije je da zbog gustog rasporeda tokom sezone kao ispitanici nisu bili uključeni rukometaši. Buduće studije bi trebalo da istraže da li se ista metodologija (ili metoda dve tačke) može primeniti za procenu BIRL i V_0 i BIKL i V_0 na uzorku koji bi činili amaterski i profesionalni rukometaši i košarkaši, kao i da li će ST trening biti prikazan i kao efikasnija metoda.

Iako su u ovom istraživanju uključeni studenti koji nisu specifično obučeni za bacanje rukometne ili košarkaške lopte, može se reći da je došlo do motornog učenja između inicijalnog i finalnog merenja. Kada bi se istraživanje primenilo na ispitanike kojima je ovaj pokret specifičan, odnosno na rukometaše ili košarkaše, moglo bi se očekivati da bi rezultati dobijeni na takvom uzorku verovatno bili drugačiji. Stoga je neophodno da se primenom istih metodoloških procedura na određenoj grupi rukometaša ili košarkaša odradi isto ovo istraživanje pri čemu bi akcenat bio da se ustanovi da li može i kod njih da se utiče na povećanje brzine leta lopte primenom odgovarajućeg opterećenja. Potencijalni problem je da se povećanjem brzine smanjuje preciznost, pa bi na osnovu toga neka buduća istraživanja mogla da budu usmerena tako da se utiče na povećanje brzine izbačaja lopte, a da pri tom preciznost ostane nenarušena, što bi trebalo da bude u suprotnosti, jer je poznato da se sa povećanjem brzine smanjuje preciznost i obrnuto.

8. Zaključak

Ova studija nosi nekoliko važnih praktičnih zaključaka. Prvo, utvrđeno je da je ST tip efikasniji od EG tipa za povećanje brzine izbačaja lopte i V_0 studenata Univerziteta u Beogradu. Drugo, metoda dve tačke je izvodljivo rešenje za procenu brzine izbačaja lopte i V_0 . Da bi napravili modele relacije $L-V$ koristeći metodu dve tačke, u praksi bi trebalo da se zabeleže izlazne brzine dva bacanja lopte (jedno bacanje lopte veoma lakog opterećenja [i.e., lopta lakša od 0,5 kg] i drugo bacanje najtežeg opterećenja koje ne ugrožava tehniku bacanja [i.e., zavisi od učesnika; 3 kg u našoj studiji]). Na taj način, metoda dve tačke će otkriti i brzinu izbačaja lopte i V_0 i samim tim pružiti sveobuhvatnije informacije o kapacitetu brzine učesnika, nego što bi to bilo učinjeno procenom samo brzine izbačaja lopte. Treće, i ST i EG su bili efikasniji za povećanje kapaciteta brzine u odnosu na manja opterećenja, koja se takođe mogu istražiti primenom metode dve tačke (npr. ispitivanje nagiba relacije $L-V$). Četvrto, implementiran trening snage je imao selektivne efekte na naše promenljive, ST trening je povećao više 1PM UDPG, dok je EG povećao više $F_{\max-a}$. I na kraju, poboljšanja kapaciteta brzine nisu praćena pomacima snage, što potvrđuje činjenicu da su to prilično različiti kapaciteti i da ih, samim tim, treba testirati nezavisno. Sve u svemu, ST trening bi trebalo da se koristi za povećanje performansi kapaciteta brzine bacanja rukometne i košarkaške lopte, dok bi metoda dve tačke trebalo da se koristi za sistematsko praćenje tih promena.

9. Potencijalni značaj istraživanja

Cilj istraživanja bio je da se ustanove potencijalni efekti treninga u kojima su primenjene različite vrste dodatog opterećenja i njihov uticaj na mehaničke parametre mišića kao što su sila, brzina i snaga. Istovremeno je vršena analiza relacije sila-brzina na višezglobnim pokretima koje se primenjena na različite testove u kojima su učestvovali mišići ruku i ramenog pojasa. Imajući u vidu da su sila i brzina veoma zastupljene u sportskim aktivnostima, sam značaj ovog istraživanja može da se očekuje u dodatnom, boljem razumevanju funkcionisanja mišićnog sistema u višezglobnim pokretima primenom različitih vrsta opterećenja. U skladu sa dobijenim rezultatima moguće je očekivati da se utvrdi uticaj elastičnog i inercionog opterećenja na relaciju sila-brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte. Analizom dobijenih rezultata na osnovu strukture pokreta moguće je predvideti eventualni transfer na sportske aktivnosti u kojima se primenjuje izvođenje brzih pokreta dominantnom rukom: razna bacanja ili udaranje rukom, npr. u tenisu, rukometu, odbojci, bacanju koplja, skvošu, bejzbolu...

Primena modela dva opterećenja imaće najveći značaj u praksi. Skratiće se vreme trajanja testiranja, izbeći će se zamor ispitanika i dobićemo neophodne informacija o mehaničkim svojstvima mišića. Potrebno je standardizovati procedure testiranja da bi model dva opterećenja bio primenjiv u praksi. Testovi bi pružali trenerima mogućnost praćenja napredovanja sportista tokom sezone.

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju zasnivaju se populaciji koju čine studenti Univerziteta u Beogradu. S obzirom da oni ne predstavljaju uzorak profesionalnih sportista opravdano se nameće dilema koliko se dobijeni rezultati mogu generalizovati na vrhunske sportiste. Kao rešenje ove dileme ostaje mogućnost da se slična istraživanja realizuju na profesionalnim sportistima kod kojih je zastupljena primena pokreta u kojima su sadržane slične mehaničke karakteristike i aktivacija njihovih mišića.

10. Literatura

1. Abernethy, P., Wilson, G. & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. *Sports medicine*, 19(6), 401-407
2. Allison, S. J., Brooke-Wavell, K. & Folland, J. P. (2013). Multiple joint muscle function with ageing: the force–velocity and power–velocity relationships in young and older men. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(2), 159-166
3. Aloui, G., Hammami, M., Fathloun, M., Hermassi, S., Gaamouri, N., Shephard, R. J. & Chelly, M. S. (2019). Effects of an 8-Week In-Season Elastic Band Training Program on Explosive Muscle Performance, Change of Direction, and Repeated Changes of Direction in the Lower Limbs of Junior Male Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1804–1815. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002786>
4. Aloui, G., Hermassi, S., Hammami, M., Gaamouri, N., Bouhafs, E. G., Comfort, P., Shephard, R. J., Schwesig, R. & Chelly, M. S. (2019). Effects of an 8-week in-season upper limb elastic band training programme on the peak power, strength, and throwing velocity of junior handball players. *Sportverletzung Sportschaden : Organ Der Gesellschaft Fur Orthopadisch-Traumatologische Sportmedizin*, 33(3), 133–141. <https://doi.org/10.1055/A-0819-5185>
5. Alves, A., & Marques, M. C. (2013). Throwing velocity predictors in elite team handball players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(3), 877–880 <https://doi.org/10.4100/jhse.2013.83.12>
6. Ameredes, B., Brechue, W., Andrew, G. & Stainsby, W. (1992). Force-velocity shifts with repetitive isometric and isotonic contractions of canine gastrocnemius in situ. *Journal of Applied Physiology*, 73(5), 2105-2111
7. Andersen, V., Fimland, M., Cumming, K., Vraalsen, Ø. & Saeterbakken, A. (2018). Explosive Resistance Training Using Elastic Bands in Young Female Team Handball Players. *Sports Medicine International Open*, 02(06), E171–E178. <https://doi.org/10.1055/a-0755-7398>
- Anderson, C. E., Sforzo, G. A., & Sigg, J. A. (2008). The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res*, 22(2), 567-574
8. Andersen, V., Fimland, M. S., Kolnes, M. K. & Saeterbakken, A. H. (2015). Elastic Bands in Combination With Free Weights in Strength Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2932–2940. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000950>

9. Baechle, R. T. & Earle, W. R. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3rd ed.): Human Kinetics.
10. Baena-Marín, M., Rojas-Jaramillo, A., González-Santamaría, J., Rodríguez-Rosell, D., Petro, J. L., Kreider, R. B. & Bonilla, D. A. (2022). Velocity-Based Resistance Training on 1-RM, Jump and Sprint Performance: A Systematic Review of Clinical Trials. *Sports*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.3390/sports10010008>
11. Banyard, H. G., Nosaka, K., Vernon, A. D. & Haff, G. G. (2017). The Reliability of Individualized Load-Velocity Profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-22
12. Bauer, J., Schwiertz, G. & Muehlbauer, T. (2021). Effects of an Elastic Resistance Band Intervention in Adolescent Handball Players. *Sports Medicine International Open*, 5(02), E65–E72. <https://doi.org/10.1055/a-1541-2916>
13. Bobbert MF. Effect of unloading and loading on power in simulated countermovement and squat jumps. *Med Sci Sports Exerc*, 2014;46(6):1176-1184
14. Bompa, T. O. (2009). *Periodizacija: teorija i metodologija treninga*. Zagreb: Gopal.
15. Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, 495(2), 573-586
16. Buttelli, O., Vandewalle, H. & Peres, G. (1996). The relationship between maximal power and maximal torque-velocity using an electronic ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(5), 479-483
17. Cavagna, G. A., Dusman, B. & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21-32
18. Chelly, M. S., Hermassi, S. & Shephard, R. J. (2010). Relationships between Power and Strength of the Upper and Lower Limb Muscles and Throwing Velocity in Male Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1480–1487 <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d32fbf>
19. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 2010a;42(8):1582-1598.
20. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2—training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*

2011b;41(2):125–146

21. Cormie, P., McGuigan, M.R. & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – biological basis of maximal power production. *Sport Med*, 41(1), 17-38
22. Cronin, J. B., McNair, P. J. & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strengthtraining techniques and load: implications for training strategy and research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 148-155
23. Cuevas-Aburto, J., Janicijevic, D., Pérez-Castilla, A., Chirisa-Ríos, L. J. & García-Ramos, A. (2020). Changes in bench press performance and throwing velocity after strength-oriented and ballistic resistance training programs. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(11). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11011-9>
24. Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M. & Jaric, S. (2014). Force–velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703-1714
25. Currell, K. & Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38(4), 297-316
26. Dern, R., Levene, J. M. & Blair, H. (1947). Forces exerted at different velocities in human arm movements. *American Journal of Physiology*, 151(2), 415-437
27. Dickinson, S. (1928). The dynamics of bicycle pedalling. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 103(724), 225-233
28. Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A. & Jaric, S. (2016). Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 927–932
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0527>
29. Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S. & Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & Posture*, 56, 60-64
30. Driss, T. & Vandewalle, H. (2013). The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *BioMed research International*, 2013.
31. Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development. *Sports Medicine*, 6(3), 146-168.
32. Feeney, D., Stanhope, S. J., Kaminski, T. W., Machi, A. & Jaric, S. (2016). Loaded vertical jumping: force–velocity relationship, work, and power. *Journal of Applied Biomechanics*,

- 32(2), 120-127
33. Fenn, W., & Marsh, B. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology*, 85(3), 277-297
 34. Fenn, W.O., Marsh B.S. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. J
 35. Froese, E. A. & Houston, M. E. (1985). Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 309-314
 36. Frontera, W. R. & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183-195
 37. Garcia-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P. & Feriche, B. (2016). Force–velocity relationship of upper body muscles: traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 178-185
 38. Garcia-Ramos, A, Pérez-Castilla, A. & Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics*, 20(3), 274–289. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1545044>
 39. García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P. & Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sport Science*, 17(6), 690-698
 40. García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J. & Haff, G. G. (2018). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1273–1279. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001998>
 41. Garcia-Ramos, Amador & Jaric, S. (2018). Two-Point Method: A Quick and Fatigue-Free Procedure for Assessment of Muscle Mechanical Capacities and the 1 Repetition Maximum. *Strength & Conditioning Journal*, 40(2), 54–66
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000359>
 42. Garcia-Ramos, Amador, Barboza-Gonzalez, P., Ulloa-Diaz, D., Rodriguez-Perea, A., Martinez-Garcia, D., Guede-Rojas, F., Hinojosa-Riveros, H., Chirisa-Rios, L. J., Cuevas-Aburto, J., Janicijevic, D. & Weakley, J. (2019). Reliability and validity of different methods of estimating the one-repetition maximum during the free-weight prone bench pull exercise. *Journal of Sports Sciences*, 37(19), 2205–2212
<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1626071>

43. Gasser, H. & Hill, A. (1924). The dynamics of muscular contraction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 96(678), 398-437
44. Ghigiarelli, J. J., Nagle, E. F., Gross, F. L., Robertson, R. J., Irrgang, J. J. & Myslinski, T. (2009). The effects of a 7-week heavy elastic band and weight chain program on upper-body strength and upper-body power in a sample of division 1-AA football players. *J Strength Cond Res*, 23(3), 756-764
45. Gorostiaga EM, Granados C, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(2):357-66
46. Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Iturralde, P., Ruesta, M. & Ibáñez, J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(5), 485–493. <https://doi.org/10.1007/s004210050622>
47. Granados C, Izquierdo M, Ibanez J, Ruesta M, Gorostiaga EM. Effects of an entire season on physical fitness in elite female handball players. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(2):351-61.
48. Gregor, R. J., Edgerton, V. R., Perrine, J. J., Champion, D. S. & DeBus, C. (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes.
49. Hahn, D., Herzog, W. & Schwirtz, A. (2014). Interdependence of torque, joint angle, angular velocity and muscle action during human multi-joint leg extension. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1691-1702
50. Hardyk, A. T. T. (2000). *Force-and Power-Velocity Relationships in a Multi-Joint Movement*. The Pennsylvania State University.
51. Hawkins, D. & Smeulders, M. (1999). An investigation of the relationship between hip extension torque, hip extension velocity, and muscle activation. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(3), 253-269
52. Hermassi, S., Chelly, M. S., Fathloun, M. & Shephard, R. J. (2010). The effect of heavy-vs. moderate-load training on the development of strength, power, and throwing ball velocity in male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2408–2418. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e58d7c>
53. Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J. & Chamari, K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing

- velocity, and sprint performance of elite male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2424–2433. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182030edb>
54. Hill, A. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *The Journal of Physiology*, 56(1-2), 19.
55. Hill, A. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Med (Lond)*, 126:136–195.
56. Hostler, D., Schwirian, C. I., Campos, G., Toma, K., Crill, M. T., Hagerman, G. R., Staron, R. S. (2001). Skeletal muscle adaptations in elastic resistance-trained young men and women. *Eur J Appl Physiol*, 86(2), 112-118
57. Ivojlav A.V. (1980). Sorevnovanija i trenirovka sportmena. Zdorovja. Kijev.
58. Jakubiak, N. & Saunders, D. H. (2008). The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1194-1197.
59. Janicijevic, D., García-Ramos, A., Knezevic, O. M. & Mirkov, D. M. (2019). Feasibility of the two-point method for assessing the force-velocity relationship during lower-body and upper-body isokinetic tests. *Journal of Sports Sciences*, 37(20), 2396–2402 <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1636523>
60. Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P. & Garcia-Ramos, A. (2019). Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *European Journal of Sport Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1645886>
61. Jarić S. (1997). Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd
62. Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(9), 699704.
63. Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585-1589
64. Jaric, S. & Kukolj, M. (1996). Sila (jačina) isnaga u pokretimačoveka. *Fizičkakultura*, 50(1-2), 15-28
65. Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A. & Skinner, J. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output.

- International Journal of Sports Medicine*, 20(03), 192-197.
66. Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M. & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping.
 67. Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Penafiel, V., Conceicao, F., GonzalezBadillo, J. & Morin, J.-B. (2014). Effect of countermovement on power–force– velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2281-2288
 68. Johansson, C., Lorentzon, R., Sjöström, M., Fagerlund, M. & Fugl-Meyer, A. (1987). Sprinters and marathon runners. Does is kinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta PhysiologicaScandinavica*, 130(4), 663-669
 69. Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45.
 70. Komi, P. (1973). Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. *Biomechanics III*, 8, 224-229
 71. Kukolj, M. (2006). *Antropomotorika*. Beograd: Fakultet sporta i fizickog vaspitanja
 72. Kurelić, N. (1967). *Osnovi sportskog treninga*. Beograd: Sportska knjiga
 73. Kurelić, N., Momirović, K., Stojanović, M., Šturm, J., Radojević, Đ., Viskić-Štalec, N. (1975) Struktura i razvoj morfoloških i motoričkih dimenzija omladine. Institut za naučna istraživanja, Fakultet za fizičku kulturu, Beograd.
 74. Kuznecov, V.V. (1975). Specijalna silovaja pogotovka sportsmen. Sovetskaja Rosija. Moskva.
 75. Leonardi V.E. (1991). Capacita motorize e invecchiamento. *Gymnica* 3, 25-32
 76. Leontijevic, B., Pazin, N., Kukolj, M., Ugarkovic, D. & Jaric, S. (2013). Selective effects of weight and inertia on maximum lifting. *International Journal of Sports Medicine*, 34(3), 232-8.
 77. Levin, A. & Wyman, J. (1927). The viscous elastic properties of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 101(709), 218-243
 78. Limonta, E. & Sacchi, M. (2010). Morphological analysis of force/velocity relationship in dynamic exercise at varying loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(8), 2065-2072
 79. Malacko, J., Raćo, I. (2004). *Tehnologija sporta i sportskog treninga*. Sarajevo: Fakultet sporta i telesnog odgoja.

80. Marechal, G. & Beckers-Bleukx, G. (1993). Force-velocity relation and isomyosins in soleus muscles from two strains of mice (C57 and NMRI). *Pflügers Archiv*, 424(5-6), 478-487.
81. Markovic G, Jaric S. Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *J Sport Sci*, 2007a;25:355-1363.
82. Markovic, P. (2015). Effects of elastic and inertial load on discrete movements velocity
83. Markovic, P., Suzovic, D., Kasum, G. & Jaric, S. (2016). Effects of training against elastic resistance on jab punch performance in elite junior athletes. *Kinesiology*, 48(1), 79–86
<https://doi.org/10.26582/k.48.1.8>
84. Marques MC, Gonzalez-Badillo JJ. In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *J Strength Cond Res* 2006;20(3):563-71.
85. Marques, Mario C., van den Tilaar, R., Vescovi, J. D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2007). Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 414–422. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.4.414>
86. Marques, Mário C., van den Tillaar, R., Vescovi, J. D. & González-Badillo, J. J. (2007). Relationship Between Throwing Velocity, Muscle Power, and Bar Velocity During Bench Press in Elite Handball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 414–422. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.4.414>
87. Marshal, R. M. & Elliott, B. C. (2000). Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *J Sports Sciences*, 18(4), 247-254.
88. Marshall, R., Mazur, S. & Taylor, N. (1990). Three-dimensional surfaces for human muscle kinetics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4), 263-270.
89. Martin, A., Martin, L. & Morion, B. (1995). Changes induced by eccentric training on force-velocity relationships of the elbow flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1-2), 183-185
90. Mascarín, N. C., de Lira, C. A. B., Vancini, R. L., da Silva, A. C. & Andrade, M. S. (2017). The effects of preventive rubber band training on shoulder joint imbalance and throwing performance in handball players: A randomized and prospective study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 21(4), 1017–1023. <https://doi.org/10.1016/J.JBMT.2017.01.003>
91. Mayr, H. O. & Zaffagnini, S. (2015). *Prevention of Injuries and Overuse in Sports: Directory*

for Physicians, Physiotherapists, Sport Scientists and Coaches: Springer.

92. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res*, 1999;13(1):58-66
93. McClenton, L. S., Brown, L. E., Coburn, J. W. & Kersey, R. D. (2008). The effect of short-term VertiMax vs. depth jump training on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 22(2), 321-325
94. McMahon, T. A. (1984). *Muscles, reflexes, and locomotion*: Princeton University Press. *Medicine*, 19(6), 401-417
95. Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B. & Pinder, S. (2015). The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*, 14(1), 68-80
96. Morin, J., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P. & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1970-1975
97. Nedeljković, A. (2016). Relacija sila–brzina u složenim pokretima: Nova metoda u tesiranju mišićne sile, snage i brzine. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd.1516.
98. Newton, R. U. (1997). Expression and development maximal muscular power. *Queensland, University of Queensland*, 230.
99. Nikolaidis, P. (2012). Age-and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 32, 87-95
100. Norton, K., Marfell-Jones, Whittingham, N et al. Antropometric Assessment Protocols, Australian Sports Commission. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000
101. Pazin N, Berjan B, Nedeljkovic A, Markovic G, Jaric S. Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles? *Eur J Appl Physiol*, 2013;113(3):577–589
102. Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez_de_Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P. & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world_class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), 583-594
103. Raeder, C., Fernandez-Fernandez, J. & Ferrauti, A. (2015). Effects of Six Weeks of Medicine Ball Training on Throwing Velocity, Throwing Precision, and Isokinetic Strength of Shoulder Rotators in Female Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7),

- 1904–1914. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000847>
104. Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G. & Lacour, J.-R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied physiology*, 84(3), 227-232
105. Ravier, G., Grappe, F. & Rouillon, J. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 349.
106. Rivière, M., Louit, L., Strokosch, A. & Seitz, L. B. (2017). Variable Resistance Training Promotes Greater Strength and Power Adaptations Than Traditional Resistance Training in Elite Youth Rugby League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 947–955. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001574>
107. Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P. & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505510.
108. Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A. & Morin, J.B. (2014). Force– velocity properties’ contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 46(1), 107-114
109. Samozino, P., Rejc, E., Di Prapero, P. E., Belli, A. & Morin, J.-B. (2012). Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313–322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
110. Schmidt, A. R. & Lee, D. T. (2005). Motor control and learning; a behavioral emphasis. *Human Kinetics*, 20-22, 35-36, 148-150
111. Schmidt, A. R., Wrisberg, A. C. (2000). Motor Learning and Performance. United States: Human kinetics, str. 91.
112. Seger, J. & Thorstensson, A. (2000). Electrically evoked eccentric and concentric torquevelocity relationships in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169(1), 63-69
113. Sheppard, J. M., Cormack, S., Taylor, K.-L., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2008). Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1320-1326
114. Shoepe, T. C., Ramirez, D. A. & Almstedt, H. C. (2010). Elastic Band Prediction Equations

- for Combined Free-Weight and Elastic Band Bench Presses and Squats. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 195–200. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318199d963>
115. Sprague, R. C., Martin, J. C., Davidson, C. J. & Farrar, R. P. (2007). Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 358-364
116. Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D. & Jaric, S. (2015). Evaluation of force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779-1787
117. Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N. & Jaric, S. (2008). Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function. *Journal of Human Kinetics*, 20(2008), 51–61. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0017-7>
118. Swinton, P. A., Lloyd, R., Agouris, I. & Stewart, A. (2009). Contemporary training practices in elite British powerlifters: survey results from an international competition. *J Strength Cond Res*, 23(2), 380-384
119. Thorstensson, A., Grimby, G. & Karlsson, J. (1976). Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 40(1), 12-16
120. Van Den Tillaar R, Ettema G. Instructions emphasizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Percept Mot Skills* (2003);97(3 Pt 1):731-42.
121. Van Den Tillaar, R. & Marques, M. C. (2009). Effect of two different training programs with the same workload on soccer overhead throwing velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(4), 474–484. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.4.474>
122. Van Den Tillaar, R. & Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(4), 211-219
123. Vanderthommen, M., Francaux, M., Johnson, D., Dewan, M., Lewycky, Y. & Sturbois, X. (1997). Measurement of the power output during the acceleration phase of all-out arm cranking exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 18(08), 600-606.
124. Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J. & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650-656
125. Vandewalle, H., Peres, G., Sourabie, B., Stouvenel, O. & Monod, H. (1989). Force-velocity

- relationship and maximal anaerobic power during cranking exercise in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 10(6), 439-445
126. Verhošanski, J.V. (1979). Razvoj snage u sportu. NIP Partizan. Beograd.
127. Vuleta, D., Milanović, D. (2004): Rukomet – znanstvena istraživanja.
128. Wallace, B. J., Winchester, J. B. & McGuigan, M. R. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res*, 20(2), 268-272
129. Wilkie, D. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3-4), 249-280
130. Wilson, G. J. & Murphy, A. J. (1996). The Use of Isometric Tests of Muscular Function in Athletic Assessment. *Sports Medicine*, 22(1), 19–37. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>
131. Yamauchi, J. & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 703-709
132. Zaciorski, V. (1969). Fizičke sposobnosti sportiste. *Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje, Beograd.*
133. Zaciorski, V. M. (1975). Fizička svojstva sportiste, Beograd: JZFKM.
134. Zatsiorsky, V. M. (2000). *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Blackwell Science Ltd.
135. Zatsiorsky, V. M. (2008). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*: John Wiley & Sons.
136. Željaskov C. (2004). Kondicioni trening vrhunskih sportista. Sportska Akademija Beograd.
137. Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D. & Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 39-49

Prilozi

PRILOG 1.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a: **Andrija Vojinović**

Broj indeksa: **5012/2016**

Izjavljujem

Da je doktorska disertacija pod naslovom:

EFEKTI RAZLIČITIH TIPOVA OPTEREĆENJA NA RELACIJU SILA–BRZINA PRI JEDNORUČNOM I DVORUČNOM IZBAČAJU LOPTE

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis doktoranda

U Beogradu, _____2023. godine

PRILOG 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **Andrija Vojinović**

Broj indeksa: **5012/2016**

Studijski program: **Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije**

Naslov rada: **Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila–brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte**

Mentor: **Red. prof. dr Dejan Suzović**

Potpisani: **Andrija Vojinović**

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranda

U Beogradu, _____2023. godine

PRILOG 3.**Izjava o korišćenju**

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

**EFEKTI RAZLIČITIH TIPOVA OPTEREĆENJA NA RELACIJU SILA–BRZINA PRI
JEDNORUČNOM I DVORUČNOM IZBAČAJU LOPTE**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerađe
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerađe
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poledini lista).

Potpis doktoranda

U Beogradu, _____2023. godine

1. Autorstvo – Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela i prerade ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela i prerade ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela i prerade ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela i prerade ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

PRILOG 4.

Odobrenje Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu doktorske disertacije.

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
- ETIČKI KOMITET

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
Бр. 1550/20-2
24-09-2020 20 ____ ГОД.
БЕОГРАД, Београда Парсоника 158

Predmet: Na zahtev zaveden pod brojem 02-1550/20-1 od 08.09.2020. koji je podneo Andrija Vojinović kao studenti doktorskih studija, Etički komitet Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju istraživanja pod nazivom "Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila-brzina pri jednoručnom I dvoručnom izbačaju lopte", mentori prof. dr Dejan Suzović i van.prof. dr Zoran Valdevit. Istraživanje se realizuje u okviru projekta „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene" koje finansira Ministarstvo, prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koje se realizuje pod nazivom nazivom " Efekti različitih tipova opterećenja na relaciju sila-brzina pri jednoručnom I dvoručnom izbačaju lopte", mentori prof. dr Dejan Suzović i van.prof. dr Zoran Valdevit, Etički komitet iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psihosocijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etički komitet Fakulteta daje saglasnost za realizaciju planiranog istraživanja.

Za etički komitet

Članovi

1. prof. dr Dušan Mitić
2. prof. dr Marina Đorđević-Nikić
3. prof. dr Ana Orlić



PRILOG 5.**FORMULAR ZA SAGLASNOST SA PROCEDUROM TESTIRANJA**

Istraživački projekat: „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“

Istraživači : Andrija Vojinović
Prof. dr Dejan Suzović
Prof. dr Zoran Valdevit
Dr Amador Garcia Ramos

Ime ispitanika (štampanim slovima): _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Pozvani ste da učestvujete u istraživačkom projektu Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. **Ciljevi istraživanja su:** (1) Modelovanje relacije sila–brzina (F–V) kod izbačaja lopte kao u rukometu, (2) Utvrđivanje efekata različitih tipova opterećenja na relaciju sila–brzina i (3) Ispitivanje povezanosti relacije sila–brzina pri jednoručnom i dvoručnom izbačaju lopte.

Vi ćete biti jedan od najmanje 30 studenata uključenih u istraživanje. Prilikom testiranja mišićne sile, ležaćete na klupi pri čemu će vam segmenti tela biti fiksirani pojasevima. Takođe, uzećemo i podatke koji se odnose na vaš datum rođenja, visinu, masu, broj telefona.

Vaše učešće u ovom projektu će obuhvatiti:

1. Merenje telesne visine, sedeće visine, raspona ruku i utvrđivanje telesne kompozicije bioimpedancom In Body 720;
2. Zagrevanje 10 minuta (5 min. na bicikl ergometru, 5 min. dinamičko rastezanje);
3. Podešavanje ergometra i sprava da odgovaraju antropometrijskim karakteristikama svakog pojedinca i familijarizacija ispitanika sa istim;

4. Merenje mehaničkih karakteristika mišića koja učestvuje u izbačaju lopte.
5. Merenje maksimalne jačine grudnih mišića određujući 1PM pri dvoručnom potisku sa grudi i jednoručnom vučenju na dinamometru.
6. Merenje brzine izbačaja lopte jednoručno i dvoručno primenom kamera za 3D snimanje i radara za merenje brzine.

7. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Sve dobijene informacije i rezultati ove studije će biti poverljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po vašem broju/šifri koja će biti poznata samo istraživačima. U slučaju povrede primićete prvu pomoć. Ako vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, vi ćete biti odgovorni za nju. Imate pravo da prekinete učešće u testiranju u bilo kom trenutku.

3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

U studiji nećete moći da učestvujete ukoliko patite od kardiovaskularnih ili neuroloških problema ili bilo kojih preoperativnih ili postoperativnih pojava (bol, otok...) koje mogu da utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane učešćem.

4. RIZIK I BENEFICIJE

Mogući rizik: možete osetiti zamor ili upalu mišića prolaznog karaktera.

Beneficije: upoznaćete se sa načinima direktnog testiranja sile mišića, dobićete kopiju InBody izveštaja o telesnoj kompoziciji. Pored svega navedenog doprinećete da se detaljnije ispita priroda relacije sila–brzina kod jednozglobnih pokreta.

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo koje pitanje u vezi sa protokolom istraživanja, obratite se Andriji Vojinoviću (063/8269292). Pitanja u vezi sa Vašim prava kao učesnika eksperimenta možete

postaviti šefu etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (011/3555 000).

6. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao/la sam ovaj dokument i priroda mog učešća, zahtevi, rizici i beneficije su mi objašnjeni. Svestan/a sam rizika i razumem da u svakom trenutku i bez ikakvih posledica mogu da povučem svoj pristanak za učešće u eksperimentu. Kopija ovog dokumenta mi je data.

7. POTPISI

Potpis ispitanika:

Datum: _____

PRILOG 6.

Kopija upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti kod ispitanika.

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije - Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

IPAQ

INTERNACIONALNI UPITNIK O FIZIČKOJ AKTIVNOSTI - IPAQ -

Ovim kratkim upitnikom želimo da ispitamo koji oblik fizičke aktivnosti najčešće upražnjavate kao deo Vaših svakodnevnih aktivnosti. Pitanje se odnosi na fizičke aktivnosti koje ste upražnjavali u poslednjih 7 dana. Molimo Vas da na svako pitanje odgovorite iskreno. Razmislite o svim fizičkim aktivnostima koje upražnjavate u toku dana na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla, u slobodno vreme, rekreativne aktivnosti, trening.

➤ Razmislite o svim **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju teži fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca znatno iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

1. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je, aerobik, brza vožnja bicikla, mali fudbal, basket, dizanje tegova, teži fizički rad u dvorištu?

_____ dana u nedelji

☐ Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 3

2. Koliko vremena ste proveli baveći se **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan ☐ Ne znam/nisam siguran

➤ Razmislite o svim **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju umeren fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

3. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je, lagana vožnja bicikla, tenis, vožnja rolera, brzo hodanje, lakši fizički rad u dvorištu? Hodanje ne spada u ovu vrstu aktivnosti.

_____ dana u nedelji

☐ Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 5

4. Koliko vremena ste proveli baveći se **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan ☐ Ne znam/nisam siguran

1

- Razmislite koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u poslednjih 7 dana. Odnosi se na hodaње na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla i nazad, u slobodno vreme, hodaње kao rekreativna aktivnost, kao deo treninga,.....

5. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste hodali najmanje 10 minuta u kontinuitetu?

_____ dana u nedelji

☐

Nisam hodaо duže od 10 minuta



Predite na pitanje br. 7

6. Koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

☐

Ne znam/nisam siguran

- Poslednje pitanje se odnosi na količinu vremena koje ste proveli sedeći u poslednjih 7 dana. Odnosi se na vreme koje ste sedeli na radnom mestu (fakultetu), kod kuće, sedenje za stolom, u poseti kod prijatelja, čitanje, gledanje Tv-a,.....

7. U poslednjih 7 dana, koliko vremena ste proveli **SEDEĆI** u toku jednog dana?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

☐

Ne znam/nisam siguran

✓ Za testiranje je potrebno da budete u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)

Saglasan sam da učestvujem u testiranju

Vaš potpis

Telefon

e-mail adresa

FREE WEIGHT TRAINING VS. ELASTIC BAND TRAINING: WHAT IS A MORE EFFECTIVE STRATEGY FOR INCREASING MAXIMAL VELOCITY ABILITY DURING HANDBALL THROWS?

Andrija Vojinovic¹, Danica Janicijevic¹, Milos R. Petrovic¹, Amador Garcia-Ramos^{2,3},
Milica Simic¹, and Dejan Suzovic¹

¹Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Department of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Science,
University of Granada, Granada, Spain

³Universidad Católica de la Santísima Concepción, Faculty of Education,
Department of Sports Sciences and Physical Conditioning, Concepción, Chile

Original scientific paper
DOI 10.26582/k.55.1.3

Abstract:

The aim of this study was to assess the effectiveness of two resistance training (RT) programs (free weight [FW] and elastic band [EB]) on velocity variables (handball throwing velocity [HTV] and maximal theoretical velocity [V_0]) using load-velocity (L-V) relationship modelling. Both programs lasted 6 weeks and consisted of performing bench press and overarm dumbbell pull-over using free weights (FW group) or elastic bands (EB group). Nineteen male sports science students were randomly assigned to EB (n=10) or FW group (n=9). Both RT programs increased HTV and V_0 , although the increment was greater in the FW (>2 m·s⁻¹) compared to the EB group (<1 m·s⁻¹). RT programs had selective effects on the strength variables being FW more effective in increasing 1-repetition maximum, while EB in increasing maximal isometric force. Very large correlations were observed between two-point (L-V relationship modelled through two pairs of L and V data) and multiple-point methods (L-V relationship modelled through six pairs of L and V data) (V_0 : $r=0.96$; HTV: $r=0.93$). All coefficients of variation showed high validity both for V_0 and HTV ($\leq 6.2\%$). Altogether, FW training should be used for increasing the velocity of the throwing performance, while the two-point method for following training-induced changes.

Key words: load-velocity relationship, resistance training, two-point method

Introduction

Overhead handball throwing is a complex, discrete, fast movement and the key technical element for successful handball performance (Cuevas-Aburto, Janicijevic, Pérez-Castilla, Chirisa-Ríos, & García-Ramos, 2020; Saavedra, Halldórsson, Kristjánssdóttir, Þorgeirsson, & Geir, 2019). The handball throwing velocity (HTV) has been identified as the crucial variable that can distinguish between skilled and less skilled handball players (Alves & Marques, 2013). It is not surprising then that many researchers have been trying to find the optimal training procedure for increasing HTV. It has been suggested that even short resistance training (RT) programmes are effective at improving throwing ability of different athletes (Baena-Marín, et al., 2022). Many variables should be taken into consideration when programming RT, such as intensity, volume, frequency of training sessions, order of exercises, duration of

the rest periods, etc. (Grgic, Schoenfeld, Skrepnik, Davies, & Mikulic, 2018; Mangine, et al., 2015; Wilk, Zajac, & Tufano, 2021). However, there is another variable that is less frequently considered but can significantly influence the outcomes of the RT programmes and it is the resistance type.

Specifically, previous studies have shown that RT programmes of similar characteristics (i.e., a similar number of repetitions and sets, relative load, and pauses between repetitions) performed using different resistance types led to different musculoskeletal adaptations (Andersen, Fimland, Kolnes, & Saeterbakken, 2015; Rivière, Louit, Strokosch, & Seitz, 2017; Shoepe, Ramirez, & Almstedt, 2010). Nevertheless, free weights (FW) are the most frequently used resistance type for increasing HTV as their utility have been confirmed in many previous studies (Chelly, Hermassi, & Shephard, 2010; Gorostiaga, Izquierdo, Iturralde, Ruesta, & Ibáñez, 1999; Hermassi, Chelly, Fathloun, &

Biografija autora

Andrija Vojinović je rođen 18. 5. 1977. godine u Jagodini gde je završio osnovnu i srednju školu. Fakultet fizičke kulture je upisao 1996. i završio 2001. godine. Iste godine je upisao poslediplomske studije. Magistrski rad na temu "Motoričke sposobnosti i morfološke karakteristike rukometaša različitog ranga takmičenja" odbranio je 16. 9. 2016. godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu i stekao zvanje magistra nauka iz oblasti fizičkog vaspitanja i sporta.

Od 2017. godine angažovan je na Visokoj sportskoj i zdravstvenoj školi kao predavač na uže stručnim predmetima iz oblasti rukometa.

Učestvovao je na konferencijama. Bio je predavač na više seminara.

Aktivno se bavio rukometom od 1992. godine. Osvajač je medalja na juniorskim prvenstvima kao igrač i kao trener. Igračku karijeru je završio 2003. godine kada počinje da radi kao kondicioni trener u muškom rukometnom klubu Crvena zvezda.

Pored rada i angažovanja na akademskom polju, razvijao se i usavršavao u stručnoj praksi. Radio je kao personalni i kondicioni trener u fitnes klubu Musculus Lux u Beogradu. Osim toga vlasnik je Sportskog kluba AS 7 od 2014. godine. Imao je zapažene rezultate u radu sa mlađim kategorijama. Sa juniorskom ekipom bio je vicešampion države. Radio je u više seniorskih ekipa: RK Čukarički (uvedo je ekipu u viši rang takmičenja), RK Nova Pazova, RK Crvena Zvezda, Sportski klub AS 7 (uvedo je ekipu u viši rang takmičenja), RK Radnički Obrenovac (uvedo je ekipu u viši rang takmičenja).